Die Einwirkung des Frostes auf die Löslichmachung der Phosphorsäure und des Kaliums, untersucht nach der Keimpflanzenmethode von Neubauer.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
einer Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Vereinigten Friedrichs-Universität
Halle-Wittenberg

vorgelegt von Bernhard Bätz
aus Osnabrück.

1927

Halle-Saale

Die Einwirkung des Frostes auf die Löslichmachung der Phosphorsäure und des Kaliums, untersucht nach der Keimpflanzenmethode von Neubauer.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
einer Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Vereinigten Friedrichs-Universität
Halle-Wittenberg

vorgelegt von Bernhard Bätz
aus Osnabrück.

1927

Halle-Saale

Referent: Professor Dr. Th. Roemer

Korreferent: Professor Dr. P. Holdefleiß

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Druck von G. Reichardt, Groitzsch (Bez. Leipzig).

Inhaltsangabe.

	Seite
A. Einleitung: I. Der Einfluß des Frostes auf die Gesteinsverwitterung	4—6
II. Die Frostwirkung auf den Ackerböden	6—9
III. Die Veränderung der Bodeneigenschaften durch den Frost	10—16
a) in physikalischer Hinsicht	
1. Struktur	
2. Volumen und Wasserkapazität	
3. Bodenoberfläche	
b) in chemischer Hinsicht	
B. Ausführung: Die eigenen Untersuchungen	17—31
I. Allgemeines	
II. Die Versuchsmethode	
III. Die Ergebnisse der Untersuchungen	
C. Schluß: Zusammenfassung	31—32
Analytische Belege	33—34
Literaturverzeichnis	35—36

Vorliegender Arbeit lag die Fragestellung zugrunde, ob der Frost, dessen günstige Einwirkung auf den Boden für die Pflanzenvegetation im Frühjahr jedem Praktiker bekannt ist, diese nur hinsichtlich einer Veränderung der physikalischen Bodeneigenschaften äußert, oder ob sich sein Einfluß auch auf die chemische Zusammensetzung der Böden erstreckt, insofern als durch ihn die den Pflanzenwurzeln zugängliche Menge an Nährstoffen gesteigert wird. Das müßte in einer erhöhten Fruchtbarkeit des Bodens nach einem frostreichen Winter zum Ausdruck kommen, wie es der alte Erfahrungssatz besagt: Wenn der Boden nicht ausfriert, wird die Ernte nicht reich[1]). Versuche, die Frostwirkung experimentell nachzuweisen, sind häufig genug unternommen worden und haben auch, besonders in bezug auf die physikalischen Bodeneigenschaften, viele Ergebnisse gebracht. Daß die Arbeiten über den chemischen Einfluß des Frostes keine Klärung schufen, lag wohl vor allem an der Schwierigkeit, für die anzustellenden Untersuchungen eine brauchbare Methodik ausfindig zu machen. Nachdem der Wissenschaft jedoch in der Neubauerschen Keimpflanzenmethode ein Mittel in die Hand gegeben wurde, die wurzellösliche Menge der Nährstoffe Phosphorsäure und Kali in einem bestimmten Bodenquantum festzustellen, konnte man der Frage der Frostwirkung auf diesem Wege wiederum nähertreten. Ihre Beantwortung wird dabei nicht von dem Streit berührt, der um die Brauchbarkeit der Methode bei der Uebertragung der Analysenergebnisse auf das Düngerbedürfnis im freien Felde entbrannt ist. Unter der Voraussetzung, daß die Methode in der Erfassung aller in 100 g Boden verfügbaren wurzellöslichen Nährstoffe exakt arbeitet, ist sie zur Zeit wie keine andere geeignet, Fragen wie die vorliegende zu klären. Bevor auf die eigenen Untersuchungen eingegangen wird, ist zu erörtern, wie die Frostwirkung zustande kommt, wie sie theoretisch erklärt wird und welche wissenschaftlichen Arbeiten bisher ausgeführt wurden, ihren Einfluß auf die Veränderung der Bodeneigenschaften experimentell zu prüfen und nachzuweisen.

I. Einfluß des Frostes auf die Gesteinsverwitterung.

Als hauptsächlichste Kraft der physikalischen Verwitterung, die in einem Zerfall der Bodenbestandteile ohne erhebliche Aenderung ihrer Zusammensetzung besteht, verursacht der Frost Volumenänderungen infolge wechselnder Temperatur und Sprengwirkungen des gefrierenden Wassers. Alle Temperaturdifferenzen beeinflussen

[1]) Zitiert von W. Schuhmacher, Physik des Bodens 1864, S. 274. Ehrenberg, Die Bodenkolloide, II. Aufl., Dresden u. Leipzig 1918, S. 157. Wollny, Untersuchungen über den Einfluß des Frostes auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Forschungen a. d. Gebiet der Agrikulturphysik, XX. Band, 1897/98, S. 439.

den physikalischen Zustand der Gesteinsteile und -teilchen derart, daß diese sich bei Erwärmung ausdehnen und bei Abkühlung zusammenziehen. Da bei gemengten Gesteinsteilen die sie zusammensetzenden Mineralien verschiedene Ausdehnungskoeffizienten besitzen und bei einfachen Gesteinen die inneren und äußeren Schichten sich ungleichmäßig erwärmen und abkühlen, entstehen Volumenänderungen und Spannungen, die allmählich zu einer Sprengung und Lockerung des Gefüges und zur Bildung von allerfeinsten, nach und nach sich immer mehr erweiternden Spalten und Rissen führen. Zu dieser reinen Temperaturverwitterung kommt dann noch die Sprengwirkung des zu Eis gefrierenden Wassers als neuer Verwitterungsvorgang hinzu, denn das Wasser vermehrt sein Volumen bei der Umwandlung aus dem flüssigen in den festen Zustand um ungefähr ein Elftel. Die physikalische Verwitterung durch Frost und Hitze gewinnt in ariden Gebieten an Bedeutung, wo die Zertrümmerung der Felsmassen durch große Wärmeschwankungen erfolgt, und im Hochgebirge, wo sie noch besonders wirksam dadurch wird, daß die Temperatur zur Nachtzeit unter den Gefrierpunkt sinkt und sich hierdurch gleichzeitig Sprengwirkungen des gefrierenden Wassers einstellen[1]). An Untersuchungen über die Größe der mechanischen Zertrümmerung der Gesteine liegen solche von Th. Dietrich[2]) vor. Bei den Versuchen wurden Gesteinsbrocken von etwa Bohnengröße in Zinkkästen den atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt; es hatten sich nach 2 Jahren gebildet:

	Bundsandstein	Muschelkalk	Basalt	Röt
	%	%	%	%
Feinerde	2,3	0,75	0,60	2,5
kl. Gesteinsbrocken . . .	8,0	9,00	1,00	49,0

Bei der Fortsetzung der Versuche wurde der Zerfall von Gesteinsstücken von 8—10 mm Durchmesser während weiterer 4 Jahre beobachtet. Nach dem Verlauf dieser Zeit fand eine Zerlegung des Versuchsgesteins nach den verschiedenen Feinheitsgraden statt, und dabei wurde gefunden:

	Bundsandstein	Muschelkalk	Basalt	Röt
	%	%	%	%
Feinerde (bis 0,5 mm Durchm.)	2,61	1,38	0,47	3,12
Sand (bis 4,0 mm Durchm.)	4,32	4,87	2,52	49,44
Gestein der urspr. Größe	93,07	93,75	97,01	47,44

Aus den Versuchen geht nicht der alleinige Anteil des Frostes an den Verwitterungsvorgängen hervor, denn auch die chemische Verwitterung, die in einer Aenderung der Zusammensetzung der

[1]) Ramann, Bodenkunde, 2. Auflage, Berlin 1905, S. 5.
[2]) Th. Dietrich, Bodenverwitterung. Zentralblatt für Agrikulturchemie 1875, H. 8, S. 4.

Gesteinsteile besteht, konnte hier ihren Einfluß geltend machen. Einwandfreier sind in dieser Beziehung Versuche Haselhoffs[1]), die prüfen sollten, ob das Durchfrieren des Gesteins die mechanische Zertrümmerung fördert. Vier Gesteinsarten wurden in einer Korngröße von 5,0—7,5 mm und 0,5—5,0 mm (je 50 %) den atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt, und zwar stand den Winter über die Hälfte der Gefäße im Vegetationshaus, die andere Hälfte im Freien. Nach 3 Jahren wurden die Gesteine in verschiedene Feinheitsgrade gesondert und ergaben folgende Korngrößen in % des angewendeten Gesteinsgewichtes:

Bundsandstein			Grauwacke			Muschelkalk			Basalt		
7,5—5,0	5,0—0,5	unter 0,5	7,5—5,0	5,0—0,5	unter 0,5	7,5—5,0	5,0—0,5	unter 0,5	7,5—5,0	5,0—0,5	unter 0,5
a) im Vegetationshaus überwintert											
46,5	48,7	4,8	44,5	54,1	1,4	47,3	52,0	0,7	46,3	53,2	0,5
b) Im Freien überwintert											
44,9	50,3	4,8	44,4	54,2	1,4	43,1	56,6	0,3	44,0	55,1	0,9

Nach Haselhoff besteht nur beim Bundsandstein ein geringer günstiger Einfluß des Durchfrierens mit der Winterfeuchtigkeit auf die Zertrümmerung des Gesteins. Leider fehlen Angaben über die Häufigkeit und Dauer des Frostes. Es ist jedenfalls festzustellen, daß die zerkleinernde Wirkung des Frostes, bis alle Gesteinsteile in Feinerde umgewandelt sind, lange Zeiträume in Anspruch nimmt und von der Art des Gesteins abhängig ist.

II. Die Frostwirkung auf den Ackerböden.

Daß der Frost auf den in Kultur befindlichen Ackerböden eine für das Pflanzenwachstum günstige Wirkung entfaltet, ist eine bekannte und oft beobachtete Tatsache. Nur ist dabei die Einschränkung zu machen, daß er zwar auf allen Böden wirkt, am besten jedoch auf allen tonreichen Bodenarten, die in ihrer Struktur ganz besonders günstig verändert werden.

Mitscherlich[2]) sieht bei allen Böden darin die Hauptwirkung des Frostes, daß durch die plötzliche Ausdehnung des aus dem Wasser entstehenden Eises in den Kapillaren diese besonders erweitert werden, weil sie nach der Bodenbearbeitung im Herbst am längsten mit Wasser gesättigt bleiben und in ihnen deshalb die Sprengwirkung am deutlichsten eintreten kann. Je mehr Wasser der Boden beim Gefrieren enthält, umsomehr werden auch die

[1]) Haselhoff, Untersuchungen über die Zersetzung bodenbildender Gesteine, Landw. Vers. Stat. 70, 1909, S. 53.

[2]) Mitscherlich, Bodenkunde für Land- und Forstwirte. 4. Auflage, Berlin 1923, S. 96 und 97.

weiteren Hohlräume durch den Frost erweitert. Durch das Auseinanderbersten der engen Hohlräume werden Bodenteilchen in die größeren hineingepreßt. Beim Auftauen ziehen sich die erweiterten Kapillaren nicht wieder zusammen. Mitscherlich folgert also, daß der Frost „enge Hohlräume erweitert und weitere verengt". Größere, fest zusammenhaftende Bodenteilchen werden zerkleinert und eine Lockerung im Bodengefüge herbeigeführt, die sowohl für das Eindringen der Pflanzenwurzeln als auch für die Wasserführung durchaus günstig ist.

Die gerade auf Tonböden stattfindende gute Krümelung wird von den Kolloidchemikern auf Ausflockungserscheinungen von Kolloiden zurückgeführt. Daß eine derartige Wirkung des Frostes bei reinen kolloidchemischen Körpern nachzuweisen ist, geht aus den Untersuchungen verschiedener Forscher hervor. So fand Ljubavin[1]), daß ca. 97 % einer Kieselsäurekolloidlösung durch 7—10° Kälte zur Zusammenballung gebracht wurden. Ebenso verhält sich das kolloide Eisenhydroxyd[2]) und das Aluminiumhydroxydkolloid[3]). Versuche über die Frostwirkung auf Suspensionen stellten O. Nolte und Erna Hahn[4]) mit einer Ultramarinrotfarbe an. Die Aufschwemmung wurde zu mehrfachem Gefrieren und Auftauen gebracht. Nach jedem Auftauen wurde eine Probe mikroskopisch untersucht und dabei eine ständig zunehmende Aneinanderlagerung der Teilchen festgestellt.

Da wir nun nach Wiegner[5]) den Boden als grob- und kolloiddisperses System aufzufassen haben, in welchem z. B. der Ton ein gemengtes Gel von Aluminiumhydroxyd und Kieselsäure darstellt[6]), ist eine Frostwirkung auch auf die im Boden vorkommenden kolloiden Körper anzunehmen, und Wiegner erklärt die durch den Frost stattfindende Krümelung folgendermaßen[7]). Durch das Ausfrieren findet in der Bodenlösung eine Abscheidung von reinem Wasser in fester Form statt und infolgedessen eine Konzentrationserhöhung der im Rest verbleibenden Elektrolyte, die eine Dispersitätsvergröberung und Flockung bewirkt. Hinzu kommt noch die Ausdehnungskraft des gefrierenden Wassers, die die locker geflockten Krümel auseinandertreibt, so daß schließlich eine Haufwerk von feinsten Bodenkrümeln vorliegt. Dieselbe Ansicht findet sich bei O. Nolte und E. Hahn[8]). Ehrenberg,

---

[1]) N. Ljubavin, Journ. russ. phys.-chem. Ges. 21, 1889, S. 389, zitiert nach Ehrenberg. Die Bodenkolloide, II. Aufl. 1918, S. 49.

[2]) H. Freundlich, Kapillarchemie, Leipzig 1909, S. 486.

[3]) Krafft, Ueber kolloide Salze als Membranbildner beim Färbeprozeß. Ber. Deutsch. chem. Ges., B. 32, S. 1614 (1899).

[4]) O. Nolte und E. Hahn, Die Wirkung des Frostes auf den Boden. Journ. f. Landwirtsch. 65, 1917, S. 75.

[5]) Wiegner, Boden und Bodenbildung 1918, S. 19

[6]) Ebenda, S. 34 und 42.

[7]) Ebenda, S. 25.

[8]) O. Nolte und E. Hahn, Die Wirkung des Frostes auf den Boden. Journal f. Landw. 65, 1917, S. 76/77.

der die Ausflockung durch Erhöhung der Elektrolytkonzentration ebenfalls erwähnt, sucht die Tätigkeit des Frostes eingehend zu begründen[1]).

Inbezug auf das im Boden vorhandene gröbere bis feinste Gesteinsmaterial vertritt er die Ansicht, daß bei ihm die Eisbildung beim Eintreten des Frostes zuerst in den größeren Spaltenräumen stattfinden wird, da durch die Untersuchungen anderer Forscher wie Müller-Thurgau[2]) und Mousson[3]) festgestellt ist, daß in engen Kapillaren das Wasser bis auf —7—10° Cels. abgekühlt werden kann, ohne zu gefrieren, daß der Gefrierpunkt des Wassers hier also tiefer liegt. So werden sich in den weitesten Spalten die ersten Eiskristalle bilden, deren Wirkung durch das Ankristallisieren neuer Eisteilchen noch verstärkt wird, indem die wachsenden Kristalle das Wasser auch der kleineren Hohlräume verbrauchen. Durch den entstehenden Kristallisationsdruck werden die Gesteinsteilchen auseinandergesprengt.

Dieser dem bloßen Auge kaum sichtbare Einfluß des Frostes tritt bedeutend in den Hintergrund vor dem, der in der vorteilhaften, von den Praktikern gewünschten Veränderung des Bodengefüges besteht. Ehrenberg nimmt an, daß der Boden infolge der meist reichlichen Niederschläge im Herbst die Tonkolloide mehr oder weniger im Solzustand[4]) enthält. Das gefrierende Wasser bildet zwischen den einzelnen Tonteilchen Eiskristalle, die sich durch Anlagerung von weiterem Wasser vergrößern und die Tonteilchen mehr oder weniger trennen. Da bei kolloidaler Substanz, die sich im Solzustand befindet, ein Ausflocken, d. h. eine Zusammenballung der Teilchen, bei der Wegnahme des Verteilungsmittels erfolgt, indem die Zahl der Teilchen in gleichen Raumteilen des Verteilungsmittels sich erhöht, sie näher aneinander gebracht werden und in erhöhtem Maße zur Zusammenballung neigen, so ist der Entzug des Wassers aus den Kapillaren und sein Uebergang in den festen Zustand ein ähnlicher Vorgang, der ebenfalls eine Zusammenballung der Kolloide bewirkt. Auch von Fischer[5]) und Given[6]) wird dieser Vergleich der Frostwirkung mit einem Austrocknen angeführt.

So werden Ton- und Lehmböden, deren Kolloide sich, sei es im Sol- oder bereits teilweise ausgeflockten Zustand befinden, in dem Sinne beeinflußt, daß die Ausflockung herbeigeführt bezw. verstärkt wird. Nun tritt auch hier wieder die bereits beschriebene

---

[1]) Ehrenberg, Die Bodenkolloide. II. Aufl. 1918, S. 165. Ebenda, S. 21, 137 ff., 157 ff.

[2]) Müller-Thurgau, Ueber das Gefrieren und Erfrieren der Pflanzen. Landw. Jahrbücher 9, 1880, S. 146.

[3]) Mousson, Die Physik auf Grundlage der Erfahrung, 1. Aufl., 1860, S. 79.

[4]) Ehrenberg, a. a. O., S. 165.

[5]) Fischer, Das Wasser im Plasma, Ztschr. f. Chemie u. Industrie der Kolloide 8, 1911, S. 294.

[6]) Given, Kolloide Eigenschaften des Tons und ihre Beeinflussung durch Kalksalze. Inaug.-Diss. Göttingen 1915, S. 20,21.

Wirkung des Ankristallisierens hinzu. Durch den entstehenden Druck werden die Bodenteilchen mit ihren ausgeflockten Kolloiden zusammengepreßt, so daß sie kleine Klümpchen bilden. Dieser Vorgang, der sich im ganzen dem Frost ausgesetzten Bodenvolumen wiederholt, führt dazu, daß der Boden eine weitgehende Krümelung erfährt, jedoch nicht so, daß er aus lauter einzelnen, nebeneinanderliegenden Krümeln besteht, sondern auch diese haften infolge der gesteigerten Klebrigkeit untereinander zusammen. Verstärkt wird diese Frostwirkung noch durch Wasserabgabe infolge Verdunstung während des Winters. Tritt im Frühjahr allmähliches Tauwetter ein, so bleibt die Krümelstruktur erhalten. Heftiger Regen oder Ueberschwemmung kann die Frostwirkung wieder beseitigen, obgleich infolge der lockeren Struktur und der Ausflockung der Kolloide der Wasserabzug begünstigt wird und ein Dichtschlämmen nicht so leicht stattfindet.

Wichtig ist die Frage bei der Ausflockung durch den Frost, ob sie eine dauernde ist oder ob die Kolloide reversibel sind. Während die ausgeflockten Tonkolloide die Eigenschaft der Quellung nicht einbüßen, also wieder in den Solzustand zurückkehren können[1]), gilt dies nicht allgemein für die Humuskolloide. So stellte A. Mayer[2]) fest, daß beim Gefrieren aus wässrigen Humuslösungen ein schwarzer Niederschlag ausfiel, der sich nach dem Auftauen nicht wieder löste.

An die Oberfläche gebrachter Ortstein zerfällt nach Gräbner[3]) durch Frost sehr rasch, indem die zusammengekitteten Humus-, Aluminium- und Eisenhydroxydkolloide irreversibel verändert werden.

Fleischer[4]) schreibt vom tonigen Seeschlick, dessen feinstzerriebene Bestandteile von den Flüssen bis an die Mündung mitgeführt und hier durch das Zusammentreffen mit dem Meerwasser abgesetzt werden, daß er als Bodenverbesserungsmittel nur dann in Frage kommt, wenn der Frost auf ihn einwirken konnte. Dieser verwandelt ihn in ein lockeres, krümeliges Pulver. Denselben günstigen Einfluß übt der Frost bei der Kultivierung der aus Seeschlick bestehenden Marschböden aus. Hier sind irreversible Veränderungen wahrscheinlich.

Fleischer[5]) betont ferner, daß die Struktur von Moorboden durch starken Frost völlig verändert werden kann, so daß er sein Kontraktionsvermögen verliert, d. h. die Fähigkeit, sich beim Austrocknen zusammenzuziehen, eine Eigenschaft, die Torf- und Moorböden sonst allgemein besitzen.

---

[1]) Ehrenberg, a. a. O., S. 143 und 503.
[2]) A. Mayer, Bleisand und Ortstein, Landw. Vers.-Stat. 58, 1903, S. 186.
[3]) Gräbner, Handbuch für Heidekultur, Leipzig 1904, S. 198.
[4]) Fleischer, Die Bodenkunde, V. Aufl., 1922, S. 73.
[5]) Fleischer, Die Wasser- und Temperaturverhältnisse des besandeten und nicht besandeten Hochmoorbodens. Landw. Jahrbücher 20, 1891, S. 771.

III. Die Veränderung der Bodeneigenschaften durch den Frost.

a) In physikalischer Beziehung.

In Verbindung mit der geschilderten Frostwirkung stehen Veränderungen der physikalischen Bodeneigenschaften, die zum Gegenstand umfangreicher Untersuchungen gemacht wurden.

1. Struktur.

Wollny[1]) stellte in eingehenden, experimentellen Studien den Einfluß des Frostes auf die Struktur des Bodens fest und kam zu folgenden Schlüssen.

1. „Der Boden zerkrümelt bezw. zerspaltet im lockeren Zustande in höherem Grade als im dichten."
2. „Die durch den Frost bewirkte Zertrümmerung des Bodens ist umso intensiver, je größer sein Wassergehalt ist."
3. „Die Spalten- und Krümelbildung durch wechselndes Frieren und Auftauen wird vornehmlich nur in Tonböden hervorgerufen."

2. Volumen und Wasserkapazität.

In anderen Versuchen erhob Wollny[2]) Zahlen über die Volumenveränderungen des Bodens.

So nahm Torfpulver beim einmaligen Frieren an Volumen zu bei wassergesättigtem Material um 6 % des Anfangsvolumens
bei zu $^2/_3$ „ „ „ 0,3 % „ „
bei zu $^1/_3$ „ „ wurde das ursprüngliche Material nicht meßbar verändert.

Beim Kaolin betrug die Zunahme des Volumens 4,7 %
„ Quarzsand „ „ „ „ „ 3,3 %
„ Humus „ „ „ „ „ 9,5 %.

Die Volumenvermehrung wurde jedoch beim Kaolin — nur für ihn sind derartige Versuche angestellt — durch häufiges Gefrieren und Auftauen nicht dauernd gesteigert, sondern nahm über einen gewissen Grenzwert hinaus wieder ab, weil die im Laufe kurzer Einwirkung des Frostes gebildeten größeren Bodenkrümel, die eine starke Volumenvermehrung herbeiführen, bei länger andauerndem Frost wieder in kleinere zerfallen. Eine Volumenvergrößerung konnte ebenfalls von O. Nolte und Erna Hahn[3]) beobachtet werden. So betrug die Höhe eines Bodens beim Einfüllen in Glaszylinder

	Gefäß 1	Gefäß 2	Gefäß 3
vor dem Gefrieren	21,5 cm	21,5 cm	21,5 cm
nach dem Gefrieren	23,0 „	23,3 „	22,8 „

Es waren durchschnittlich Volumenvergrößerungen von 10 % zu verzeichnen.

---

[1]) Wollny, Einfluß des Frostes auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Forsch. a. d. Gebiet d. Agrik. Physik. Band 20, 1897/98, S. 447—449.

[2]) Wollny, Forschg. a. d. Geb. d. Agrikulturphysik B 20, 1897 98, S. 444.

[3]) O. Nolte und E. Hahn, Die Wirkung des Frostes auf den Boden. Journ. f. Landw. 65, 1917, S. 75.

Im Zusammenhang mit der Volumenzunahme steht die Veränderung der Wasserkapazität. Sachs[1]) benutzte eine humose, schwarze Buchenerde, die nach dem Frieren eine Verminderung ihrer Wasserkapazität um 5,5 % erfuhr.

Fleischer[2]) stellte bei dem bereits erwähnten Seeschlick nach dem Auftauen einen Wasserverlust von 30 % des ursprünglich festgehaltenen Wassers und damit eine Wasserkapazitätsverringerung durch den Frost fest, oder bei einem Moorboden nach zweimaligem Frieren eine Einbuße der vollen Wasserkapazität von 6,9 %[3]).

Zahlreiche Versuche unternahm Wollny[4]). Folgende aus den Untersuchungsergebnissen errechnete Zahlen geben einen Ueberblick über die Abnahme der Wasserkapazität. Gewichtsprozentrisch betrug die Wasserkapazität:

	vor dem Gefrieren	nach 6 maligem Gefrieren	Abnahme in % der ursprünglichen Wasserkapazität
bei Tonboden	58,1	42,2	27,6
„ Lehmboden	39,3	29,3	25,2
„ Quarzsand	19,9	18,2	8,6
„ humosem Diluvialsand	35,7	34,3	4,1
„ Hochmoortorf	454,0	448,4	1,2
„ Niederungsmoortorf	128,8	124,0	3,7

Die Frostwirkungen sind also — unter der Voraussetzung voller Wassersättigung oder eines stark feuchten Zustandes der Böden — beim Ton und tonreichen Bodenarten am stärksten, schwächer bei den Sanden, am geringsten bei Humusböden. Daß bei letzteren die Verminderung der Wasserkapazität trotz ihrer Lockerung durch den Frost nicht erheblich ist, hat seinen Grund nach Wollny wohl in der Fähigkeit der Moorböden, das Tauwasser wegen der hohen Wasserkapazität sofort wieder aufzusaugen und nicht absickern zu lassen. Eine weitere — experimentell bestätigte[5]) — Folgerung Wollnys aus der Volumenzunahme und Verringerung der Wasserkapazität ist eine Erhöhung der Durchlässigkeit sowohl für Luft als auch für Wasser.

3. Bodenoberfläche.

Umstritten ist die Wirkung des Frostes auf die Veränderung der „Bodenoberfläche“ (d. i. nach Mitscherlich[6]) die Summe

[1]) Sachs, Veränderungen vegetabilischer Stoffe durch Gefrieren und Auftauen. Landw. Vers.-Stat. 2, 1860 S. 193.

[2]) Fleischer, Die Bodenkunde. V. Aufl., 1922, S. 73.

[3]) Fleischer, Die Wasser- u. Temperaturverhältnisse des besandeten und nicht besandeten Hochmoorbodens. Landw. Jahrbücher 20, 1891, S. 786.

[4]) Wollny, Forschg. a. d. Geb. der Agrik. Physik Bd. 20, 1897/98, S. 454.

[5]) Wollny, Forschg. a. d. Geb. d. Agrik. Phys. Bd. 20, S. 452 u. 454.

[6]) Mitscherlich, Bodenkunde, S. 66, 1923, IV. Aufl.

der Oberflächen aller einzelnen Bodenpartikelchen), die durch die Bestimmung der Hygroskopizität ermittelt wird, d. h. derjenigen Wassermenge, die gerade erforderlich ist, um alle absolut trocknen Bodenteilchen zu benetzen. Es ist dabei zunächst der Unterschied zwischen Ackerkrume einerseits und Untergrund und solchen Bodenarten anderseits zu machen, die noch aus viel unverwittertem Material bestehen. Während Ehrenberg und v. Romberg[1]), Mitscherlich und R. Hoffmann[2]) bezüglich der Oberflächenvergrößerung des Untergrundes und wenig verwitterter Bodenarten — trotz Anwendung einer nicht voll übereinstimmenden Untersuchungsmethode — zu gleichartigen Ergebnissen kommen, die eine Vergrößerung der Oberfläche feststellen, haben diese Forscher, soweit die Einwirkung des Frostes auf die Ackerkrume in Frage kommt, entgegengesetzte Meinungen, welche durch eigene und Versuchsergebnisse ihrer Schüler bekräftigt werden. Bedingt wird die gegenteilige Ansicht erstens durch theoretische Erwägungen und zweitens durch die Untersuchungsmethode, die zwar im Prinzip dieselbe ist (die Rodewald-Mitscherlich'sche Hygroskopizitätsbestimmung)[3]), sich aber in einem Punkte unterscheidet. Ehrenberg und Pick[4]) gehen bei allen Bestimmungen vom frischen Boden aus, Mitscherlich dagegen vom lufttrockenen. Erstere bringen den zu untersuchenden Boden feucht über 10%ige Schwefelsäure, so daß eine Wasserabnahme erfolgt, und zwar bis zur Gewichtskonstanz, d. h. bis der Boden nur noch sein hygroskopisches Wasser enthält. Sie begründen diese Modifikation damit, daß durch die Trocknung des zu untersuchenden Bodens an der Luft bereits irreversible Veränderungen der Kolloide eintreten könnten, so daß bei dem folgenden Gefrieren nicht mehr in vollem Maße eine Zusammenballung der Kolloide stattfinden könnte, die bei der Verwendung naturfrischen Bodens in einer Hygroskopizitätsverminderung voll zum Ausdruck käme[5]). Mitscherlich und seine Schüler glauben nicht, daß das im feuchten Boden kapillar vorhandene Wasser durch den Dampfspannungsausgleich über 10%iger Schwefelsäure völlig entfernt werden kann. Außerdem sehen sie in dem Lufttrocknen der Böden einen natürlichen Vorgang, der auf den Böden nicht nur in jedem Sommer des öfteren eintritt, sondern bereits im Laufe von Jahren stattfand, so daß die Möglichkeit einer physikalischen Verände-

---

[1]) Ehrenberg und v. Romberg, Zur Frostwirkung auf den Erdboden. Journ. f. Landw., 61, 1913, S. 73.

[2]) R. Hoffmann, Untersuchungen über die Veränderung der Bodenoberfläche. Landw. Vers.-Stat. 85, 1914, S. 123.

[3]) Mitscherlich, Bodenkunde, IV. Aufl., 1923, S. 19 und 64.

[4]) Ehrenberg und Pick, Beiträge zur physikalischen Bodenuntersuchung. Ztschr. f. Forst- u. Jagdwesen 43, Jahrgang 1911, S. 39.

[5]) Ehrenberg und v. Romberg, Journal f. Landw., 61, 1913, S. 84.

rung durch das Lufttrockenmachen nicht nur außerordentlich gering, sondern nahezu ausgeschlossen sei[1]).

Es seien nunmehr Durchschnittsergebnisse beider Untersuchungsmethoden mit den zugehörigen wahrscheinlichen Fehlern bei gefrorenen und ungefrorenen Böden angeführt und zwar zunächst für den

Untergrund.

Ehrenberg und v. Romberg[2]) erhoben folgende Hygroskopizitätszahlen:

	unbehandelt	13 mal gefroren	Zunahme	97 mal gefroren	Zunahme
Ziegelton	10,46±0,007	10,80±0,025	0,34±0,026	10,66±0,014	0,20±0,016
Rohhumus	21,12±0,129	21,52±0,088	0,40±0,156	22,83±0,094	1,71±0,16

R. Hoffmann, der bei allen Bestimmungen vom lufttrocknen Boden ausging, und den aufgetauten Boden über konzentrierter Schwefelsäure auch wieder zur Lufttrockene brachte, erhielt bei der Untersuchung von Torf aus dem Untergrunde eines Moorbodens folgende Werte[3]):

	Ungefroren	10 mal gefroren
1.	38,64	46,42
2.	39,67	44,81
3.	38,64	50,27
Mittel	38,98 ± 0,27	47,16 ± 1,21
Differenz		+ 8,18 ± 1,24

Die drei Forscher stimmen also in ihren Ergebnissen darin überein, daß der Frost die Oberfläche des rohen Bodens vergrößert. Anders ist es bei der Feststellung der Bodenoberflächenveränderung der

Ackerkrume.

Ihre Verkleinerung versuchte Czermak[4]) nachzuweisen. Czermak sieht die Gesamtoberfläche beeinflußt einmal durch das Zertrümmern und Sprengen der einzelnen Bodenpartikelchen, das eine Vergrößerung der Bodenoberfläche und ein Steigen der Hygroskopizität zur Folge haben müßte und zum andern durch die Koagulierung von Bodenkolloiden, die eine Verkleinerung der Gesamtoberfläche herbeiführen und um so stärker hervor-

[1]) Mitscherlich, Bodenkunde, IV. Aufl., 1923, S. 70.
Mitscherlich u. Floess, Ein Beitrag zur Bestimmung der Hygroskopizität und zur Bewertung der physikalischen Bodenanalyse. Intern. Mitt. für Bodenkunde 1912. Bd. 1, S. 463 und ff.
R. Hoffmann, a. a. O. Landw. Vers.-Stat. 85, 1914, S. 129.

[2]) Ehrenberg und v. Romberg, a. a. O S. 78.

[3]) R. Hoffmann, a. a. O. S. 128.

[4]) W. Czermak, Ein Beitrag zur Erkenntnis der Veränderungen der sogenannten physikalischen Bodeneigenschaften durch Frost, Hitze und die Beigabe einiger Salze. Inaug.-Dissertation, Breslau 1911.

treten müßte, je weniger sie durch die genannte Vergrößerung aufgehoben würde.

Es mögen seine Ergebnisse folgen:

	unbehandelt	4 Wochen gefroren	Abnahme	8 Wochen gefroren	Abnahme
I. Reihe					
Ackerkrume	9,07±0,034	8,68±0,010	0,39±0,035	—	—
II. Reihe					
Ackerkrume	8,71±0,014	8,54±0,014	0,17±0,020	—	—
I. Reihe					
Untergrund	4,97±0,003	—	—	4,69±0,033	0,28±0,033

Verantwortlich macht Czermak für die festgestellte Hygroskopizitätsverminderung die Bodenkolloide und Ehrenberg[1]) deutet die eigenen und Czermaks Versuche dahingehend, daß „Böden, die eine geringe Beeinflussung ihrer Kolloide erwarten lassen, eine Bodenoberflächenvergrößerung erfahren, während bei Böden mit erheblicher Beeinflussung die Koagulierung der Hygroskopizitätserhöhung entgegenwirkt und die Bodenoberfläche vermindert".

R. Hoffmann[2]) unterwarf sechs verschiedene Böden, deren Proben der Ackerkrume entstammten, einem 10maligen Gefrieren und Auftauen, konnte jedoch keine Veränderung der Bodenoberfläche feststellen. Die Differenz zwischen „gefroren" und „ungefroren" lag bei allen sechs Bodenarten gut innerhalb des vierfachen wahrscheinlichen Fehlers des Mittelwertes (bei 4 Parallelversuchen). Er fand folgende Hygroskopizitätswerte:

	Ungefroren	Gefroren	Differenz Ungefroren : gefroren
1. Grober Sand	0,93±0,01	0,99±0,04	+0,06±0,04
2. Humoser Sand	3,03±0,01	2,96±0,03	−0,07±0,03
3. Humoser lehmiger Sand	5,66±0,02	5,51±0,03	−0,15±0,04
4. Humoser sandiger Lehm	6,82±0,05	6,87±0,07	+0,05±0,09
5. Gartenboden	10,86±0,10	10,91±0,22	+0,05±0,24
6. Moorboden	21,16±0,40	21,28±0,23	+0,12±0,51

Hoffmann begründet seine Ergebnisse damit, daß „die Böden unserer Breiten bereits unzählige Male der Wirkung des Frostes ausgesetzt gewesen seien. Möge die erstmalige Frostwirkung bei einem rohen Boden die Bodenoberfläche noch so stark verändern, so müsse man sich diese Veränderung bei fortlaufenden Wiederholungen der Einwirkung des Frostes doch stets kleiner werdend denken. Es sei daher anzunehmen, daß wir uns gegenwärtig einem durch die Frostwirkung erzielbaren maximalen Endwerte der Veränderung der Bodenoberfläche nur noch ganz asymptotisch näherten".

[1]) Ehrenberg und v. Romberg a. a. O. S. 86.
[2]) R. Hoffmann a. a. O. S. 127.

b) In chemischer Beziehung.

Als erster unternahm es M. Fleischer[46]), den chemischen Einfluß des Frostes nachzuweisen. Er behandelte eine direkt getrocknete Probe von frischem Seeschlick und eine nach dem Ausfrieren getrocknete Probe des gleichen Schlicks mit halbgesättigtem Kohlensäurewasser und bestimmte die in Lösung gegangenen Stoffe.

Es waren, auf 100 Teile Trockensubstanz umgerechnet, in Lösung gegangen:

	Ursprünglicher Schlick	Ausgefrorener Schlick
Mineralsubstanz	0,670	0,731
Glühverlust	0,160	0,130
Kali	0,021	0,022
Natron	0,036	0,033
Kalk	0,257	0,302
Magnesia	0,040	0,033
Phosphor. Eisenoxyd	0,002	0,001
Schwefelsäure	0,077	0,113
Kieselsäure	0,030	0,034

Nach Fleischer kann von einem Löslicherwerden bei den meisten Bestandteilen nicht die Rede sein. Jedoch ist eine nicht unbedeutende Menge an Kalk und Schwefelsäure im durchgefrorenen Schlick mehr in Lösung gegangen, als bei dem Schlick im ursprünglichen Zustande. Der Unterschied entspricht 0,06 % schwefelsaurem Kalk und 0,04 % kohlensaurem Kalk.

Haselhoff[47]) suchte die Frage der Frostwirkung auf pflanzenphysiologischem Wege zu lösen. Als Ausgangsmaterial dienten vier Gesteinsarten mit folgendem Prozentgehalt an Gesamtnährstoffen:

	Bundsandstein	Grauwacke	Muschelkalk	Basalt
Kalk	0,50	3,30	52,90	11,00
Kali	3,67	1,74	0,34	1,90
Phosphorsäure	0,15	0,38	0,20	0,77
Magnesia	0,65	2,47	0,64	13,17

Die Versuche wurden in der Weise ausgeführt, daß bei gleichmäßigem Gesteinsmaterial ein Teil der Versuchsgefäße den Winter über trocken im Vegetationshaus aufbewahrt wurde, ein anderer Teil dagegen von November bis März im Freien stand, so daß die Versuchsgesteine den atmosphärischen Niederschlägen und dem Frost ausgesetzt waren. (Angaben über Zahl der Frosttage fehlen auch hier.) Zum Begießen der in den Gefäßen während der drei Versuchsjahre wachsenden Pflanzen (Pferdebohne und

[46]) M. Fleischer, Die Materialien zur Düngung und Melioration des Moorbodens. Landw. Jahrb. Bd. 12, 1883, S. 203.

[47]) Haselhoff, Untersuchungen über die Zersetzung bodenbildender Gesteine; Landw. Vers.-Stat. 70, 1909, S. 53.

Gerste) wurde destilliertes Wasser verwendet. Die in sämtlichen drei Versuchsjahren von den Pflanzen aufgenommenen Nährstoffmengen (Nährstoffe der Gesamternten abzüglich Nährstoffmengen des Saatgutes) sind in folgender Tabelle zusammengestellt (in g pro Versuchsgefäß):

	Gesteine den Winter über			
	a) Im Vegetationshaus gestanden		b) im Freien gestanden	
Pflanzen 1903 1904 1905	Bohne Bohne Gerste	Gerste Gerste Bohne	Bohne Bohne Gerste	Gerste Gerste Bohne
1. Stickstoff				
Bundsandstein	0,468	0,518	0,420	0,372
Grauwacke	0,257	0,145	0,345	0,211
Muschelkalk	0,098	0,051	0,053	0,111
Basalt	0,103	0,081	0,057	0,084
2. Kalk				
Bundsandstein	0,462	0,239	0,590	0,406
Grauwacke	0,606	0,332	0,758	0,415
Muschelkalk	0,710	0,493	1,287	0,172
Basalt	0,206	0,179	0,284	0,173
3. Magnesia				
Bundsandstein	0,150	0,099	0,187	0,164
Grauwacke	0,121	0,079	0,202	0,115
Muschelkalk	0,169	0,039	0,107	0,062
Basalt	0,262	0,192	0,241	0,181
4. Kali				
Bundsandstein	0,229	0,093	0,303	0,156
Grauwacke	0,215	0,124	0,300	0,243
Muschelkalk	0,129	0,034	0,062	0,034
Basalt	0,206	0,209	0,277	0,197
5. Phosphorsäure				
Bundsandstein	0,053	— 0,005	0,045	0,002
Grauwacke	— 0,027	— 0,040	— 0,016	— 0,035
Muschelkalk	— 0,029	— 0,039	— 0,051	— 0,038
Basalt	— 0,032	— 0,043	— 0,055	— 0,030

Da ein regelmäßig wiederkehrender Unterschied in den beiden Versuchsreihen nicht zu erkennen ist, zieht Haselhoff die Schlußfolgerung, daß „die Winterfeuchtigkeit bezw. das Durchfrieren der Gesteine mit ihr ohne Einfluß auf die Löslichkeit der Gesteinsteile bezw. die Aufnahme der letzteren durch die Pflanzen geblieben ist".

Auch in späteren 4 jährigen Versuchen[1]) konnte nicht der Beweis einer lösenden Einwirkung des Frostes auf die Nährstoffe der verwendeten Gesteine erbracht werden.

[1]) Haselhoff und Isernhagen, Einfluß des Pflanzenwachstums auf die Zersetzung bodenbildender Gesteine. Landw. Jahrbücher 50, 1916, S. 115.

Die eigenen Untersuchungen.

I. Allgemeines. Folgende Gesichtspunkte leiteten den Verfasser bei Inangriffnahme und Ausführung der eigenen Untersuchungen:

1. Es ist eine bekannte Tatsache, daß auf einem Boden jahrzehntelang ohne jegliche Düngerzufuhr Ernten zu erzielen sind, die zwar allmählich geringer werden, aber dennoch dem Boden erhebliche Mengen an Phosphorsäure und Kali entziehen (ewiger Roggenbau in Halle seit 1879, Rothamsteder Weizenbau seit 1845).

2. Die beiden Faktoren, die es ermöglichen, den Pflanzen die durch die Ernten entzogenen Mineralstoffe in wurzellöslicher Form zur Verfügung zu stellen, sind die physikalische und chemische Verwitterung. Letztere ist als eine Einwirkung des Wassers, der Kohlensäure der Luft und des Sauerstoffs auf die Bodenbestandteile oder unzersetztes Gestein (einfache chemische Verwitterung) oder als Einwirkung der entstandenen Lösungen aufeinander oder auf Boden und Gestein (komplizierte chemische Verwitterung) aufzufassen. Die physikalische Verwitterung wirkt vor allem durch Temperaturänderungen und Eisbildung.

3. Soll die Frostwirkung allein festgestellt werden, so ist die chemische Verwitterung möglichst auszuschalten oder bei einem Vergleich von ungefrorenem und gefrorenem Boden gleichmäßig zu gestalten.

4. Die Einwirkungen, die der Frost auf den Boden ausübt, können sich auf alle Bodenbestandteile mineralischen oder organischen Ursprungs beziehen, soweit sie noch unverändert oder bereits mehr oder weniger verwittert sind. Dabei ist an eine Veränderung der Teilchengröße oder des kolloidalen Zustandes zu denken. Eine zweite Beeinflussung der Bodenbestandteile durch den Frost kommt insofern in Frage, als bei häufigem Wechsel von Gefrieren und Auftauen das sich bildende Tauwasser auf alle Bodenbestandteile stets neu einwirkt. Die Einwirkung des Frostes auf die Bodenlösung besteht in einer wiederholten Aenderung ihrer Konzentration.

II. Die Versuchsmethode. Die Untersuchungen umfaßten fünf verschiedene Bodenarten:

1. Milder Tonboden d. Saaleniederung aus Passendorf b. Halle 7,4 pH
2. Humoser leichter Lehmboden vom Versuchsfeld des Instituts für Pflanzenbau . . . . . 7,1 pH
3. Humoser Sandboden vom Versuchsfeld des Instituts für Pflanzenbau . . . . . 7,1 pH
4. Granitboden aus Niederbobritzsch in Sachsen . . . . 4,9 pH
5. Muschelkalkboden, bestehend aus Muschelkalkton und Muschelkalklehm aus Zwaetzen bei Jena . 7,2 pH

Boden 4 und 5 sind Verwitterungsböden aus den Steinkästen des Institutsgartens. Sie stammen von Böden, die am Herkunftsort bereits in Kultur befindlich waren.

Die Bodenproben wurden an der Luft getrocknet, durch ein

1 mm Sieb gesiebt, gut durchgemischt und im Keller bei gleichmäßiger Temperatur gelagert. Um die Böden mit einer Wassermenge zum Gefrieren ansetzen zu können, die einem bestimmten Grad ihrer Wasserkapazität entsprach, wurde diese zunächst nach der im landwirtschaftlichen Laboratorium üblichen Vorschrift[1]) bestimmt. Sie betrug (auf das Gewicht des absolut trocknen Bodens bezogen) bei 3 bezw. 2 Parallelen, die eine gute Uebereinstimmung zeigten, im Mittel:

Beim Tonboden	Lehmboden	Sandboden	Granitboden	Muschelkalkboden
%	%	%	%	%
39,99	30,81	29,05	38,30	30,90

Erst bei einem Wassergehalt von 85 % seiner Wasserkapazität ließ der Tonboden beim Pressen mit der Hand Spuren von Nässe zurück, und deshalb wurde diese Zahl gewählt, um alle Böden vor dem Gefrieren mit der ihr entsprechenden Wassermenge anzufeuchten. Die volle Wassersättigungsmenge wurde nicht angewandt, denn es war zu befürchten, daß die Böden, besonders der Sand- und Lehmboden, diese Menge nicht mehr zu fassen vermöchten, da ja die Wasserkapazität bei der Bestimmung im Laboratorium von der Lagerung in den zur Bestimmung dienenden Metallkästen abhängig ist und es nicht möglich erschien, dieselbe Lagerung auch in den zum Gefrieren verwendeten Flaschen zu erzielen.

Als Gefriervorrichtung diente eine mit Torfmull gefüllte Kiste (75×50×60 cm), in die 3 Blechbüchsen von 15 cm Durchmesser eingebettet wurden. Die Büchsen waren so geräumig, daß in ihnen je eine Flasche mit ca. 7—800 g Boden Platz fand. Der Zwischenraum zwischen Flasche und Büchsenwand und -boden wurde mit einer Kältemischung aus zerschlagenen Eisstücken und denaturiertem Kochsalz ausgefüllt. Es wurden so Temperaturen bis —14° Celsius erzielt, ausreichend, um je nach der Qualität des Eises während 4—10 Stunden ein völliges Erstarren der Bodenmenge zu erreichen. Um jeden Einfluß der Atmosphäre und ein Verdunsten des Tauwassers auszuschalten, wurden alle Flaschen durch mit Paraffin getränkte Korke luft- und wasserdicht verschlossen. Beim Gefrieren des Ton-, Lehm- und Sandbodens waren folgende Erscheinungen nach häufigerem Gefrieren und Auftauen zu beobachten. Beim Tonboden bildeten sich auf der Oberfläche und dort, wo der Boden sich nicht eng an die Flaschenwand legte, zahlreiche kleine Eiskristalle und beim Lehm- und Sandboden sogar eine dünne Eisschicht, eine Bestätigung von Ehrenbergs Ansicht des An- und Auskristallisierens der Eisteilchen. Ebenfalls machte sich eine Volumenvergrößerung dadurch

[1]) Untersuchungsmethoden im landw.-physiol. Laboratorium des landw. Instituts Halle (von Prof. Dr. Wohltmann und Dr. Marschall). 1914.

bemerkbar, daß sich die Böden, die emporgefroren waren, beim Auftauen von der Wand loslösten. Eine Wasserkapazitätsverringerung war jedoch nur beim Lehm- und Sandboden durch den Augenschein wahrzunehmen, indem sich beim Auftauen auf der Oberfläche der Bodensäulen eine dünne Wasserschicht bildete und die Böden am Grunde der Flaschen eine sehr nasse Beschaffenheit annahmen. Nach Beendigung jeder Frostperiode wurden die Flaschen, um die gefrorenen Bodensäulen freizubekommen, zerschlagen und in Porzellanschalen soweit abgetrocknet, daß sie zur Lufttrocknung ausgebreitet werden konnten. Dabei zeigte sich die Struktur des Lehm- und Sandbodens kaum verändert, beim Granit- und Muschelkalkboden war bereits eine bessere Krümelung des 20 mal gefrorenen Bodens zu beobachten, die sehr deutlich beim 20 mal gefrorenen Tonboden wurde. Der Boden zerbröckelte in lauter kleine, teilweise noch zusammenhängende Klümpchen und Krümel. Diese sichtbare Veränderung der Bodenstruktur ging allerdings durch das Trocknen an der Luft und nochmalige Zerkleinern und Sieben wieder verloren. Jedoch war diese Maßnahme nicht zu vermeiden, es sei denn, man hätte den Boden, um die Strukturveränderung zu erhalten, bereits in den Neubauergefäßen zum Gefrieren bringen müssen, was erstens technisch schwer durchführbar gewesen wäre und zweitens auch die indirekte Wirkung des Frostes in den Bereich der Untersuchungen gezogen hätte. Die indirekte Wirkung des Frostes durch Krümelbildung und damit die Schaffung günstigerer Wachstumsbedingungen für die Pflanzen steht sicherlich außer allem Zweifel. Den vorliegenden Untersuchungen lag aber die Frage zugrunde, welche bleibenden Einflüsse der Frost chemisch und physikalisch äußert.

Nach der Trockensubstanzbestimmung und der Umrechnung des Wassergehaltes der lufttrockenen Böden auf die gefundene Trockensubstanz geschah das Ansetzen und die Weiterbehandlung der Gefäße bei 5 Parallelbestimmungen auf der Grundlage von Neubauers[1]) Arbeitsvorschrift mit den am hiesigen Institut eingeführten Modifikationen[2]). Die wesentlichen Punkte, auf die bei einem Vergleich von „ungefroren“ mit „gefroren“ besonders geachtet wurde, seien kurz angeführt:

1. Auszählen der für eine Serie benötigten Körner in einem Arbeitsgang. (Das 100-Korngewicht war stets 4,2 g.)
2. Gleichmäßige Wachstumsbedingungen für alle Vergleichsgefäße durch sorgfältiges Begießen und Herstellung gleicher Belichtungsverhältnisse durch Drehen und Umsetzen der Gefäße.
3. Gleiche Wachstumszeit durch Ansetzen und Ernte der Vergleichs-

[1]) Neubauer u. Schneider, Ztschr. f. Pflanzenernährung und Düngung. 1923. Heft 5.

[2]) Koerschens, Inaugural-Dissertation, Halle 1926. Der Einfluß kohlensauren Kalkes und verschiedener Stickstoffdüngemittel auf die Ausnutzung der Bodenphosphorsäure und des Bodenkalis, untersucht nach der Neubauerschen Keimpflanzenmethode.

gefäße zu derselben Zeit. Die Wachstumszeit betrug 14 Tage bei Serie I—IV, 15 Tage bei Serie V—VII und bei allen blinden Versuchen. Die Phosphorsäure wurde nach der von Lorenz'schen Methode[1]) als Ammoniumphosphormolybdat gewichtsanalytisch bestimmt. Die Kalibestimmung erfolgte nach Mitscherlichs Methode[2]) mit der Abänderung von Christensen[3]). Bezüglich des Gefrierens ergaben sich im Verlaufe der Untersuchungen einige Abänderungen, die am besten bei Besprechung der einzelnen Serien anzugeben sind. Die Untersuchungen umfaßten 7 Serien mit 269 Phosphorsäure- und Kalianalysen, deren Mittelwerte von 5 Parallelen am Schlusse der Arbeit in Tabelle I aufgeführt sind. Als Genauigkeitsmaß der Untersuchungen diente der mittlere Fehler des Mittelwertes einer Beobachtungsreihe, berechnet nach der Formel

$$m = \sqrt{\frac{\Sigma a^2}{n\,(n-1)}}$$ [4]).

Um nun den mittleren Fehler (M) der Nährstoffaufnahme aus einem Boden zu finden, trat die Formel $M = \sqrt{m_1^2 + m_2^2}$ in Anwendung, wobei m_1 den mittleren Fehler der Nährstoffaufnahme aus (Boden + 100 Körner Einsaat) bedeutet und m_2 den mittleren Fehler der Nährstoffaufnahme nur aus der Einsaat (blinder Versuch). Dadurch, daß dieselbe Formel abermals bei einem Vergleich der Aufnahme aus „ungefroren" : „gefroren" benutzt wurde, erklären sich die verhältnismäßig hohen mittleren Fehler der Vergleiche.

III. Die Ergebnisse der Untersuchungen.

I. und II. Serie.

Vergleich „ungefroren" mit „1 mal gefroren".

Die verwendeten drei Böden (Ton-, Lehm- und Sandboden) wurden mit Leitungswasser angefeuchtet und zum einmaligen Gefrieren gebracht. Es ergaben sich nachstehende Mittelwerte:

Der auffallende Unterschied in der P_2O_5-Aufnahme bei jedem einzelnen Boden der Serie I und II erklärt sich durch den Abzug der stark voneinander abweichenden blinden Werte. Die zu beiden Serien verwandten Körner stammten noch aus der Ernte 1924, wiesen also an sich bereits einen hohen Trockensubstanzgehalt auf, der bei den zur I. Serie verbrauchten Körnern noch besonders hoch deswegen war, weil der Roggen vor dem Auszählen längere Zeit im Laboratoriumsraum stand, während die zur zweiten Serie benutzten Körner dem Austrocknen nicht in dem Maße ausgesetzt waren. Die bei einem Vergleich von „Ungefroren" : „Gefroren" sich ergebende Mehraufnahme beim Ton- und Lehmboden und die Minderaufnahme beim Sandboden kann nicht als gesichert gelten, da die mittleren Fehler außerordentlich hoch sind, scheinbar bedingt durch fehlerhafte Ausführung der Analysen. Die Aufnahme an P_2O_5 in der II. Serie ist durch den einmal wirkenden

[1]) v. Lorenz, Landw. Vers.-Stat. 66, 1907, S. 203.

[2]) Mitscherlich, Eine quantitative Bestimmung kleiner Mengen von Kalium. Landw. Vers.-Stat., 76, 1911, S. 139. Mitscherlich und Fischer, Zur Kalianalyse. Landw. Vers.-Stat. 78, 1912, S. 75.

[3]) Christensen, Ueber die Bestimmung von Kalium in Erde und Düngemitteln. Landw. Vers.-Stat. 97, 1921, S. 27.

[4]) Roemer, Der Feldversuch. Berlin 1925. S. 38.

Bodenart	Aufnahme an P_2O_5 in mg pro 100 g B.		Mehraufnahme von 1 mal gefroren	Aufnahme an K_2O		Mehraufnahme von 1 mal gefroren
	ungefroren	1 mal gefroren		gefroren	1 mal gefroren	
I. Serie						
1. Tonboden	10,04 ± 0,98	10,36 ± 0,58	+ 0,32 ± 1,14	63,11 ± 0,39	65,23 ± 0,46	+ 2,12 ± 0,60
2. Lehmboden	5,14 ± 1,36	6,98 ± 0,87	+ 1,84 ± 1,62	24,48 ± 0,66	27,58 ± 1,00	+ 3,10 ± 1,20
3. Sandboden	6,85 ± 0,47	5,94 ± 0,41	− 0,91 ± 0,62	47,95 ± 0,51	45,90 ± 0,32	− 2,05 ± 0,60
II. Serie						
1. Tonboden	12,93 ± 0,36	13,31 ± 0,31	+ 0,38 ± 0,48	63,29 ± 0,26	65,63 ± 0,10	+ 2,34 ± 0,28
2. Lehmboden	8,82 ± 0,26	8,88 ± 0,36	+ 0,06 ± 0,44	27,24 ± 0,35	30,73 ± 0,29	+ 3,49 ± 0,45
3. Sandboden	8,95 ± 0,27	9,39 ± 0,34	+ 0,44 ± 0,43	48,06 ± 0,19	46,55 ± 0,18	− 1,51 ± 0,26

Frost nicht gesteigert worden. Die Abweichungen liegen innerhalb des doppelten mittleren Fehlers. In beiden Serien kommt jedoch nach einmaligem Gefrieren beim Ton- und Lehmboden eine geringe Kalimehraufnahme zum Ausdruck, die auf einen Einfluß des Frostes schließen lassen könnte. Es ist jedoch zu bedenken, daß die Böden mit Leitungswasser angefeuchtet zum Gefrieren gebracht wurden. Eine im Versuchslaboratorium des Instituts ausgeführte Analyse ergab folgende Zusammensetzung in 1 l:

215	mg $CaCO_3$	96,73	mg $MgCl_2$
143,9	„ $CaSO_4$	18,23	„ KCl
95,68	„ Na_2SO_4	159,75	„ NaCl

Zur Anfeuchtung der drei Böden vor dem Gefrieren dienten auf 100 g Boden

beim Tonboden	21,3 ccm	Leitungswasser
„ Lehmboden	22,6 ccm	„
„ Sandboden	22,0 ccm	„ .

Auf K_2O umgerechnet ergibt sich eine Zufuhr von

0,240 mg	beim Tonboden
0,252 mg	„ Lehmboden
0,246 mg	„ Sandboden.

Das sind nur geringe Mengen. Die Mehraufnahme an Kali kann jedoch durch die bekannte Erscheinung des Basenaustausches erklärt werden, der in der Weise stattfindet, daß absorbierte Stoffe gegen andere in Lösung befindliche ausgetauscht werden. Für die vorliegende Kalimehraufnahme liegt die Annahme nahe, daß auf die absorptionsfähigen Bodenbestandteile die durch das Leitungswasser zugeführten Basenverbindungen in der Weise wirkten, daß das absorbierte Kalium in Lösung übergeführt und

für die Pflanzen aufnehmbar wurde, während an seine Stelle das Kalzium trat.

Daß in beiden Serien beim Sandboden eine Minderaufnahme des Kaliums erfolgte, ist ohne weiteres nicht zu erklären. Man könnte allerdings an das Ehrenberg'sche Kalkkaligesetz[1]) denken, welches besagt, „daß eine Zurückdrängung der Kaliaufnahme eintritt, wenn für eine nur schwächer mit Kali versorgte Pflanze die Kalkzufuhr erheblich gesteigert wird". Jedoch steht dieser Voraussetzung die verhältnismäßig hohe wurzellösliche Kalimenge des Sandbodens gegenüber.

III. Serie.

Vergleich „ungefroren" mit „20 mal gefroren".

Die Böden wurden bei den weiteren Untersuchungen während der Frostperiode nur mit destilliertem Wasser behandelt. Die Ergebnisse sind folgende:

Bodenart	Aufnahme an P_2O_5		Mehraufnahme von 20 mal gefroren	Aufnahme an K_2O		Mehraufnahme von 20 mal gefroren
	ungefroren	20 mal gefroren		ungefroren	20 mal gefroren	
1. Tonboden	14,68 ± 0,29	14,53 ± 0,28	− 0,09 ± 0,40	64,73 ± 0,27	64,51 ± 0,19	− 0,22 ± 0,33
2. Lehmboden	9,77 ± 0,29	10,14 ± 0,26	+ 0,37 ± 0,39	28,66 ± 0,35	31,28 ± 0,40	+ 2,62 ± 0,53
3. Sandboden	10,12 ± 0,29	10,51 ± 0,26	+ 0,39 ± 0,39	47,07 ± 0,49	47,79 ± 0,41	+ 0,72 ± 0,64

Die Phosphorsäurewerte befinden sich auch hier innerhalb des doppelten mittleren Fehlers bei allen drei Böden. Nur die Kalizahlen des 20 mal gefrorenen Lehm- und Sandbodens lassen eine geringe Mehraufnahme erkennen, die bei letzterem jedoch auch innerhalb der Fehlergrenzen liegt. Da fast alle Böden in der I.—III. Serie die Tendenz zeigten, nach der Gefrierperiode eine geringe Mehraufnahme an P_2O_5 oder K_2O aufzuweisen, lag die Annahme nahe, daß die lösende Wirkung des Wassers während der Zeit des Auftauens einen — wenn auch geringen — Einfluß auf die im Boden befindlichen P_2O_5- und K_2O-Verbindungen ausüben könnte. Um diesen Einfluß des Wassers, der eine Frostwirkung vortäuschen könnte, auszuschalten, wurde deshalb in den nächsten Serien eine Abänderung dahingehend getroffen, daß die ungefrorenen Böden vor dem Ansetzen mit der gleichen Wassermenge wie die zum Gefrieren bestimmten Bodenproben angefeuchtet wurden.

---

[1]) Ehrenberg, Das Kalkkaligesetz. Berlin 1919.

IV. und V. Serie.

Vergleich „ungefroren“: „1mal gefroren“: „20mal gefroren“.

Da die 20mal gefrorenen Böden der IV. Serie pro Tag 7—8 Stunden aufgetaut waren, ergab sich eine Dauer von 7 Tagen, während welcher die ungefrorenen Böden der Wirkung des destillierten Wassers ausgesetzt wurden. Bei der V. Serie wurden die Böden nicht vorher in Porzellanschalen angefeuchtet, sondern lufttrocken in die Flaschen gefüllt und dann mit der 85% ihrer Wasserkapazität entsprechenden Wassermenge übergossen. Es wurde dadurch erreicht, daß die Böden nicht zusammenschlämmten, sondern die Lagerung eine bessere, für die Einwirkung des Frostes günstigere wurde, indem zwischen den einzelnen Bodenpartikelchen mit Luft erfüllte Hohlräume blieben. Mit dem Gefrieren wurde erst begonnen, nachdem die ganze Bodenmenge vom Wasser durchdrungen war. Außerdem wurden die Böden sehr langsam zum Gefrieren und Auftauen gebracht. Es ergab sich infolgedessen für die V. Serie eine 14tägige Wasserwirkung auf die ungefrorenen Bodenmengen. Die beiden Serien, die sich durch die Dauer der Wasserwirkung, die Lagerung der Bodenproben in den Flaschen, die Art des Gefrierens und Auftauens und dadurch unterschieden, daß die beiden Serien zu verschiedenen Zeiten unter nicht völlig gleichen Bedingungen wuchsen, brachten folgende Ergebnisse:

Bodenart	Aufnahme an P_2O_5					Aufnahme an K_2O				
	ungefroren	1 mal gefroren	20 mal gefroren	Mehraufnahme von 1 mal gefroren	Mehraufnahme von 20 mal gefroren	ungefroren	1 mal gefroren	20 mal gefroren	Mehraufnahme von 1 mal gefroren	Mehraufnahme von 20 mal gefroren
IV. Serie										
1. Tonboden	14,37 ±0,18	14,33 ±0,21	14,51 ±0,26	−0,04 ±0,28	+0,14 ±0,32	66,51 ±0,34	66,72 ±0,34	66,65 ±0,35	+0,21 ±0,48	+0,14 ±0,49
2. Lehmboden	10,43 ±0,25	10,58 ±0,26	10,28 ±0,22	+0,15 ±0,32	−0,15 ±0,33	35,81 ±0,47	36,16 ±0,38	35,80 ±0,43	+0,35 ±0,60	−0,01 ±0,64
3. Sandboden	10,25 ±0,21	10,57 ±0,27	11,19 ±0,17	+0,32 ±0,34	+0,94 ±0,27	49,61 ±0,35	49,79 ±0,39	49,26 ±0,40	+0,18 ±0,52	−0,35 ±0,53
V. Serie										
1. Tonboden	11,44 ±0,27	11,83 ±0,29	12,13 ±0,32	+0,39 ±0,40	+0,69 ±0,42	63,05 ±0,34	63,19 ±0,27	63,81 ±0,32	+0,14 ±0,43	+0,76 ±0,47
2. Lehmboden	9,98 ±0,26	8,62 ±0,30	9,46 ±0,28	−1,36 ±0,40	−0,52 ±0,38	32,32 ±0,37	31,82 ±0,48	32,76 ±0,42	−0,50 ±0,61	+0,44 ±0,56
3. Sandboden	8,45 ±0,31	7,92 ±0,36	9,36 ±0,28	−0,53 ±0,48	+0,91 ±0,42	44,13 ±0,39	43,45 ±0,41	45,18 ±0,46	−0,68 ±0,57	+1,05 ±0,60

Augenfällig ist zunächst der große Unterschied in der P_2O_5- und K_2O-Aufnahme bei einem Vergleich der Mittelwerte jedes

Bodens in Serie IV mit den Mittelwerten desselben Bodens in Serie V. Der Hauptgrund dafür liegt — abgesehen von der längeren Lagerung der in Serie V benutzten Böden — wahrscheinlich in den verschiedenen Wachstumsbedingungen beider Serien. Wegen Ueberfüllung des Gewächshauses standen die Gefäße der Serie IV im Nebenraum. Die Pflanzen wuchsen bei sehr gleichmäßiger Temperatur, die tagsüber zwischen 16° und 20° Cels. schwankte und auch in der Nacht nicht erheblich sank, da die Heizung nachts angestellt blieb (siehe Temperaturtabelle). Bei Serie V war die Temperatur nicht so gleichmäßig, sank in der Nacht erheblich und stieg des Morgens nur sehr langsam an. Die Wachstumszeit betrug daher auch $15\,^1/_2$ Tage. Es war jedoch nicht möglich, die Ernte länger hinauszuschieben, da die Pflanzen nach dieser Zeit zu welken begannen. Der Tonboden zeigt nur in Serie V eine — zwar noch innerhalb der Fehlergrenze liegende — geringe Mehraufnahme an P_2O_5 bei 20 maligem Gefrieren. Beim Lehmboden, auf den der 20 malige Frost in beiden Serien ohne Wirkung blieb, und beim Sandboden ist in Serie V nach einmaligem Gefrieren eine erhebliche Minderaufnahme festzustellen. Eine kürzere Wachstumszeit gegenüber „ungefroren" kommt nicht in Frage, da alle Vergleichsgefäße stets an einem Tage angesetzt bzw. geerntet wurden. Da der einmal gefrorene Boden nur zirka 12 Stunden im feuchten Zustande verblieb, wäre der Grund darin zu suchen, daß bei dem ungefrorenen Lehm- und Sandboden das destillierte Wasser während der 14 tägigen Einwirkung die Löslichkeit der Phosphorsäure erhöhte, zumal beide Böden im Gegensatz zum Tonboden wegen des Sättigungsgrades von 85 % ihrer Wasserkapazität eine sehr feuchte Beschaffenheit aufwiesen. Daß diese Unterschiede in Serie IV nicht auftreten, liegt wohl an der Dauer und Art der Wasserwirkung. Sie währte in Serie IV nur 7 Tage und zwar bei einer Durchschnittstemperatur von $5\,^1/_2{}^0$ Celsius, dagegen in Serie V die doppelte Zeit bei einer Durchschnittstemperatur von $8\,^1/_2{}^0$ Celsius. Außerdem waren die Bedingungen für irgendwelche chemischen Umsetzungen bei den Böden der Serie V, die in den Flaschen lockerer lagerten, bedeutend besser. In beiden Serien übereinstimmende Ergebnisse liefert nur der Sandboden, der 20 mal gefroren eine Mehraufnahme von 0,94 bezw. 0,91 mg zeigt. Die Kaliwerte schwanken bei allen drei Böden weit innerhalb des doppelten mittleren Fehlers außer beim 20 mal gefrorenen Ton- und Sandboden in Serie V. Hier ist eine geringe Mehraufnahme zu verzeichnen.

Da die Versuche, chemisch einen Einfluß des Frostes festzustellen, fast ergebnislos verliefen, wurde die Hygroskopizität der drei Böden „ungefroren" und „20 mal gefroren" nach der Rodewald-Mitscherlich'schen Methode[1]) bestimmt. Die durch den

[1]) Mitscherlich, Bodenkunde für Land- und Forstwirte, 4. Aufl., 1923, S. 12—15 und 69/70.

Frost hervorgerufene Krümelstruktur und die Veränderung der Kolloide blieb zwar nicht erhalten, sondern ging durch das Zurücktrocknen, Zerkleinern und Sieben der Böden wieder verloren. Es konnten somit nur die bleibenden Frostwirkungen erfaßt werden. Dabei wäre an eine Aufteilung und Zerkleinerung von Gesteinstrümmern zu denken. Eine Zerstörung von Kolloiden dürfte bei den nicht sehr tiefen Kältegraden nicht in Frage kommen.

Nachstehende Ergebnisse wurden erhalten:

I. Tonboden ungefroren		20 mal gefroren	
1.	6,590 %	1.	6,631 %
2.	6,652 %	2.	6,543 %
3.	6,605 %	3.	6,662 %
	6,616 % ± 0,019		6,612 % ± 0,036

Differenz — 0,004 ± 0,041

II. Lehmboden ungefroren		20 mal gefroren	
1.	3,421 %	1.	3,440 %
2.	3,428 %	2.	3,405 %
3.	3,490 %	3.	3,380 %
	3,446 % ± 0,022		3,408 % ± 0,018

Differenz — 0,038 ± 0,028

III. Sandboden ungefroren		20 mal gefroren	
1.	2,865 %	1.	3,045 %
2.	2,898 %	2.	3,027 %
3.	2,830 %	3.	3,009 %
	2,864 % ± 0,020		3,027 % ± 0,010

Differenz + 0,163 ± 0,022

Der Ton- und Lehmboden zeigen keine Veränderung der Hygroskopizität, die beim Sandboden jedoch eine deutliche Erhöhung erfuhr. Da man annehmen konnte, daß die Trocknung über dem Phosphorpentoxyd im Dampfbade nicht vollständig gewesen war, wurden die Bodenproben in den Wiener Schälchen nochmals getrocknet. Es wurden jetzt folgende Zahlen ermittelt:

ungefroren		20 mal gefroren	
1.	2,865 %	1.	3,043 %
2.	2,901 %	2.	3,023 %
3.	2,833 %	3.	3,010 %
	2,866 % ± 0,024		3,025 % ± 0,010

Differenz + 0,159 ± 0,026

Die Bodenoberflächenvergrößerung ist also als einwandfrei zu bezeichnen und dadurch zu erklären, daß der Frost auf einzelne Bodenpartikelchen zerkleinernd und sprengend eingewirkt hatte. Damit wäre ein Grund für die erhöhte P_2O_5-Aufnahme aus dem 20 mal gefrorenen Sandboden gefunden, denn bei einer Vergrößerung der Bodenoberfläche um 5,69 % ist die Möglichkeit einer besseren Ausnutzung der P_2O_5 durch die Wurzeln gegeben, was sich auch in der höheren Aufnahme geltend macht.

Eine Veränderung der Wasserstoffionenkonzentration, die kolo-

rimetrisch nach Hasenbäumer[1]) vor dem Kochen und nach Dirks[2]) nach dem Kochen des KCl-Auszuges bestimmt wurde, konnte bei allen drei Böden nicht festgestellt werden.

Bodenart	ungefroren		1 mal gefroren		20 mal gefroren	
	vor dem Kochen	nach dem Kochen	vor dem Kochen	nach dem Kochen	vor dem Kochen	nach dem Kochen
1. Tonboden	pH 7,4	8,0	7,45	8,0	7,5	8,0
2. Lehmboden	7,1	7,9	7,1	8,0	7,1	8,0
3. Sandboden	7,1	8,0	7,1	8,0	7,1	7,9

VI. und VII. Serie.

Vergleich „ungefroren“: „1mal gefroren“: „20mal gefroren“.

Zu weiteren Untersuchungen wurden die beiden oben genannten Verwitterungsböden benutzt, von denen anzunehmen war, daß in ihnen die Phosphorsäure bezw. das Kali in höherem Maße an noch unverwitterte oder wenig zersetzte Mineralien gebunden war als bei dem Ton-, Lehm- und Sandboden, auch wenn sie wie diese zum Gefrieren und Ansetzen der Gefäße in demselben Feinheitsgrad (1 mm Durchm. und $<$) verwendet wurden. Bevor auf die Ergebnisse der beiden Serien eingegangen wird, seien die bisher vorliegenden Arbeiten erwähnt, welche die Frage behandeln, welche Mineralien und inwieweit diese für eine Versorgung der Kulturpflanzen überhaupt in Betracht kommen.

Die Phosphorsäure tritt an Eisen, Aluminium oder meistens an Kalk gebunden auf und bildet als Trikalziumphosphat den Hauptbestandteil der Phosphatlager. In Verbindung mit Ca (Cl_2, F_2, $(OH)_2$) kommt der phosphorsaure Kalk als Apatit und Phosphorit vor und bildet einen Nebenbestandteil vieler Gesteine. Alle natürlich vorkommenden Phosphate sind gegen den Angriff schwacher Säuren und gegen die Verwitterung sehr widerstandsfähig[3]). Prianischnikow[4]) fand durch Sandkulturversuche, daß die Phosphorsäure der Phosphorite den Getreidepflanzen fast unzugänglich war, während sie von anderen Pflanzen wie Lupine und Buchweizen bedeutend besser ausgenutzt wurde.

So betrug die Ausnutzung in %:

Quelle der P_2O_5	Phosphorit	Knochenmehl	Thomasschlacke	Lösliche P_2O_5 oder $CaHPO_4$
1. Cerealien	0—10	40	60—70	100
2. Buchweizen und Lupine	60	90	100	100

[1]) Hasenbäumer, Kolorimetrische Bestimmung der Bodensäure. Landw. Vers.-Stat., 95, 1910, S. 106.

[2]) Dirks, Wesen und Bedeutung der physiologischen Bodenreaktion, Sonderdruck aus d. Ztschrift. f. Pfl.-Ernährg. u. Düng., Teil A, 7. Band, Heft 5/6.

[3]) Fleischer, Bodenkunde, V. Aufl., 1922, S. 46.

[4]) Prianischnikow, Zur Frage über den relativen Wert von verschiedenen Phosphaten. Landw. Vers.-Stat. 56, 1902, S. 107 und 65, 1907, S. 23.

Aehnliche Ansichten über die Verwertung von Rohphosphaten durch die Pflanzen finden sich bei Pfeiffer, Simmermacher und Spangenberg[1]) und M. v. Wrangell[2]).

Die Hauptquelle des Kalis im Boden stammt aus den kalihaltigen Silikaten der Gesteine. Als kaliführende Mineralien sind in erster Linie Feldspate und Glimmer zu nennen.

Prianischnikow[3]) stellte vergleichende Vegetationsversuche zwischen der Feldspat- und Glimmergruppe an, indem er den Versuchspflanzen (Hirse, Lein, Buchweizen und Hafer) in dem einen Falle feingeriebenes Orthoklaspulver und im andern Falle feinverteilten Kaliglimmer verabreichte. Aus dem Vergleich der geernteten Trockensubstanz zog er die Schlußfolgerung, daß der Kaliglimmer eine bessere Kaliquelle darstellt als der Orthoklas, dessen Zugänglichkeit für die Pflanzen in den Versuchen sehr minimal war. Aehnliche Versuche wurden von Blanck[4]) zunächst für die Glimmergruppe ausgeführt. Die zur Düngung verwendeten Mineralien waren der Muskovit, d. h. der Kaliglimmer, und der Biotit, der Magnesiaeisenglimmer. Die Ausnutzung des Kalis im Muskovit war geringer als die des Biotits, sie betrug für die

einfache Muskovitgabe . .	1,66 %
doppelte „ . .	2,86 %
einfache Biotitgabe . .	14,67 %
doppelte „ . .	10,37 %

Blanck[5]) prüfte ferner die Feldspatgruppe in ihrer Eignung, lösliches Kali den Pflanzen zur Verfügung zu stellen. Er fand folgende Ausnutzung des gereichten Kalis durch die Versuchspflanzen (Hafer):

Kalinatronfeldspate		Kalknatronfeldspate	
Mikroklin . . .	1,12 %	Oligoklas . . .	3,50 %
Orthoklas . . .	2,23 %	Labradorit . . .	3,45 %
		Albit	7,07 %

Normaldüngung mit Kaliumsulfat 70,81 %

In den eigenen Versuchen ergab sich unter dem Einfluß des Frostes auf dem Granit- und Muschelkalkboden in Serie VI und VII, die in einem Zwischenraum von 8 Tagen wuchsen und sonst völlig gleich behandelt wurden, folgende Aufnahme an P_2O_5 und K_2O:

---

[1]) Die Löslichkeit verschiedener Phosphate und deren Ausnutzung durch Hafer und Buchweizen. Landw. Vers.-Stat. 89, 1917, S. 203.

[2]) Ein estländisches Rohphosphat u. seine Wirkung auf verschiedene Pflanzen. Landw. Vers.-Stat. 96, 1920, S. 1.

[3]) Prianischnikow, Feldspat und Glimmer als Kaliquellen. Landw. Vers.-Stat. 63, 1906, S. 151.

[4]) Blanck, Die Glimmer als Kaliquelle für die Pflanzen und ihre Verwitterung. Journ. f. Landw. 60, 1912, S. 97.

[5]) Blanck, Die Bedeutung des Kalis i. d. Feldspaten f. d. Pflanzen. Landw. Vers.-Stat. 61, 1913, S. 1.

Bodenart	Aufnahme an P_2O_5					Aufnahme an K_2O				
	ungefroren	1 mal gefroren	20 mal gefroren	Mehraufnahme von 1 mal gefroren	Mehraufnahme von 20 mal gefroren	ungefroren	1 mal gefroren	20 mal gefroren	Mehraufnahme von 1 mal gefroren	Mehraufnahme von 20 mal gefroren
VI. Serie										
1. Granitboden	0,84 ±0,32	0,47 ±0,39	1,13 ±0,37	−0,37 ±0,50	+0,29 ±0,49	32,06 ±0,78	34,96 ±0,28	47,95 ±0,43	+2,90 ±0,83	+15,89 ± 0,89
2. Muschelkalkboden	3,27 ±0,38	3,44 ±0,36	3,30 ±0,33	+0,17 ±0,52	+0,03 ±0,50	74,52 ±0,78	74,90 ±0,68	75,89 ±0,59	+0,38 ±1,03	+ 1,37 ± 0,98
VII. Serie										
1. Granitboden	0,21 ±0,38	−0,57 ±0,36	−0,01 ±0,38	−0,78 ±0,52	−0,22 ±0,54	31,97 ±0,47	34,45 ±0,55	45,56 ±0,67	+2,48 ±0,72	+13,59 ± 0,82
2. Muschelkalkboden	3,11 ±0,31	3,34 ±0,45	3,57 ±0,35	+0,23 ±0,55	+0,46 ±0,47	73,98 ±0,67	73,95 ±0,70	74,25 ±0,70	−0,03 ±0,97	+ 0,27 ± 0,97

Der Granitboden zeigt eine außerordentlich geringe Menge an wurzellöslicher P_2O_5 und läßt in beiden Serien keinen außerhalb der Fehlergrenze liegenden Unterschied erkennen. In Serie VII ist sogar eine Minderaufnahme gegenüber dem blinden Versuch festzustellen. Der Muschelkalkboden verhält sich nicht anders. Ueberraschend ist dagegen beim Granitboden die in beiden Serien einwandfreie, erhebliche Steigerung der Kaliaufnahme nach ein- bezw. zwanzigmaliger Frostwirkung. Als Ursache dieser Mehraufnahme wäre auch hier wieder die Bodenoberflächenvergrößerung heranzuziehen. Die Hygroskopizitätszahlen der beiden Böden sind folgende:

Granitboden ungefroren	20 mal gefroren
1. 3,925	1. 4,099
2. 3,839	2. 4,150
3. 3,882	3. 4,111
3,882 ± 0,025	4,120 ± 0,015

Differenz + 0,238 ± 0,029

Muschelkalkboden ungefroren	20 mal gefroren
1. 7,413	1. 7,519
2. 7,492	2. 7,434
3. 7,378	3. 7,486
7,428 ± 0,034	7,480 ± 0,025

Differenz + 0,052 ± 0,042.

Die Erhöhung beträgt beim Granitboden 6,13%. Es fragt sich nur, ob sie allein für eine Steigerung der Kaliaufnahme in Frage kommt, da die P_2O_5-Aufnahme unbeeinflußt von ihr blieb, was allerdings bei dem relativ geringen wurzellöslichen Vorrat wohl erklärlich ist.

Eine andere Erklärung für die Mehraufnahme wäre in der

Einwirkung des Frostes auf die kalihaltigen Silikate und ihre Zersetzungsprodukte zu suchen. Dabei ist zunächst einiges über den Vorgang der Hydrolyse zu sagen. Sie hat nach den neueren Anschauungen für die Verwitterung der Silikate grundlegende Bedeutung und machte sich bei dem untersuchten Granitboden in einer Veränderung der Reaktion bemerkbar. Die pH-Konzentration nach Hasenbäumer betrug

	vor dem Kochen	nach dem Kochen
beim ungefr. Granitboden (ohne dest. Wasser behandelt)	4,9	5,7
„ „ „ (mit „ „ „)	5,6	7,6
„ 1 mal gefr. „ („ „ „ „)	4,5	<4,5
„ 20 mal gefr. „ („ „ „ „)	6,0	7,0

Nach Blanck[1]) wirkt das dissoziierte (in seine H^+- und OH^--Ionen zerlegte) Wasser spaltend auf Gesteine und Mineralien ein. Die aus Alkalialuminiumsilikaten bestehenden Feldspate werden hydrolisiert und zwar zerfällt das Alkalisilikat in kolloidale Kieselsäure und in alkalisch wirkendes Kalium- bezw. Natriumhydroxyd. Auch das Aluminiumsilikat wird hydrolytisch gespalten, wodurch kolloides Aluminiumhydroxyd, bei Gegenwart von Eisen auch kolloides Eisenhydroxyd und Kieselsäure entstehen. Daß bei dem Granitboden eine hydrolytische Spaltung eintrat und Alkalien löslich wurden, zeigt die Verminderung der Azidität des mit dest. Wasser 14 Tage lang behandelten ungefrorenen und 20 mal gefrorenen Bodens gegenüber der ungefrorenen und unbehandelten Bodenprobe. Schwerlich läßt sich jedoch eine Erklärung dafür finden, daß die H-Ionenkonzentration nach einmaligem Gefrieren gegenüber dem unbehandelten ungefrorenen Boden stieg. Da die Hydrolyse ebensogut im mit Wasser behandelten ungefrorenen wie im 20 mal gefrorenen Boden während der Zeit des Aufgetautseins wirken konnte, kommt sie als Ursache für die erhebliche Mehraufnahme wohl kaum in Betracht. Größeres Gewicht ist jedoch auf die Zusammensetzung des Bodens zu legen. Der Granitboden, der wegen seines Reichtums an Feldspaten als Kalilieferant anzusprechen ist, ist bei dem Feinheitsgrad, in dem er verwendet wurde, als bereits erheblich verwittert zu betrachten. Infolgedessen enthält er außer den noch vorhandenen kristallinen Mineralbestandteilen vor allem auch jene kolloidalen Substanzen, in welche die Silikate, wie bereits erwähnt wurde, bei der Verwitterung zerfallen, und die mit den freigewordenen Basen sogenannte Absorptionsverbindungen bilden. Es ist daher möglich, daß der Frost sowohl auf die mineralischen Bestandteile als auch auf ihre kolloidalen Zersetzungsprodukte im wiederholten Wechsel einwirkte und das Kalium löslich machte.

Der Muschelkalkboden hingegen zeigte in beiden Serien kaum

[1]) Blanck, Die Glimmer als Kaliquelle für die Pflanzen und ihre Verwitterung. Journ. f. Landw. 60, 1912, S. 102.
derselbe, Gestein und Boden in ihrer Beziehung zur Pflanzenernährung. Landw. Vers.-Stat. 77, 1912, S. 146.

eine Veränderung der aufnehmbaren Kalimenge. Möglich ist allerdings, daß bei dem an sich hohen Gehalt an löslichem Kali eine Frostwirkung deswegen nicht in die Erscheinung trat, weil das freigemachte Kali wegen des hohen Kalkgehalts von 41,42% $CaCO_3$ sofort durch Basenaustausch festgelegt wurde. Die Hygroskopizität erfuhr eine geringe, jedoch innerhalb der Fehlergrenze liegende Erhöhung durch die 20 malige Frostwirkung. Die H-Ionenkonzentration blieb unbeeinflußt.

Die pH-Zahlen waren folgende:

ungefroren		1 mal gefroren		20 mal gefroren	
vor dem Kochen	nach dem Kochen	vor dem Kochen	nach dem Kochen	vor dem Kochen	nach dem Kochen
7,2	7,7	7,3	7,8	7,3	7,8

Da alle Untersuchungen — abgesehen vom Granitboden — nicht derartige Resultate ergaben, daß man eine Frostwirkung mit Bestimmtheit annehmen könnte, und da es schien, daß die Methode auch bei genauestem Arbeiten kleine Unterschiede nicht zu fassen vermag, wurde schließlich noch die in 1%iger Zitronensäure lösliche Phosphorsäure nach Lemmermann[1]) bestimmt.

Es ergaben sich folgende Zahlen (mg P_2O_5 in 100 g absolut trockenem Boden).

Bodenart	ungefroren		1 mal gefroren		Unterschied	20 mal gefroren		Unterschied
Ton	54,9	Mittel	55,3	Mittel	+0,5	56,3	Mittel	+1,15
1,93% $CaCO_3$	55,0	54,95	55,6	55,45		55,9	56,1	
Lehm	36,2	Mittel	36,3	Mittel	−0,3	37,5	Mittel	+1,0
0,61% $CaCO_3$	37,2	36,7	36,5	36,4		37,9	37,7	
Sand	44,9	Mittel	45,1	Mittel	−0,05	46,6	Mittel	+0,75
0,62% $CaCO_3$	45,6	45,25	45,3	45,2		45,4	46,0	
Granit	24,4	Mittel	26,1	Mittel	+1,75	21,9	Mittel	−2,05
0,05% $CaCO_3$	24,3	24,35	26,1	26,1		22,7	22,3	
Muschelkalk	17,8	Mittel	17,1	Mittel	−1,0	17,9	Mittel	+0,3
41,42% $CaCO_3$	17,8	17,8	16,5	16,8		18,3	18,1	

Beim Ton-, Lehm- und Sandboden ist wegen der geringen Unterschiede eine Veränderung der Löslichkeit nach einmal wirkendem Frost kaum anzunehmen, dagegen zeigen diese Böden nach 20 maligem Gefrieren eine geringe Zunahme an löslicher P_2O_5. Während diese beim Granitboden nach 1 maligem Gefrieren zu-

[1]) Lemmermann, Ueber die Bestimmung der relativen Löslichkeit der Bodenphosphorsäure. Ztschrft. f. Pfl.-Ern. u. Düng. 1923, A, Bd. 2, S. 363 u. 1925, Teil B, Bd. 4, S. 37.

nimmt, ist sie nach 20 maligem Frost vermindert. Der Muschelkalkboden verhält sich gerade entgegengesetzt; es ist jedoch zu bedenken, daß der hohe Gehalt an kohlensaurem Kalk (41,42%), wenn er auch wie bei den anderen Böden durch Zugabe von Zitronensäure neutralisiert wurde, sich störend hat bemerkbar machen können.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

I. In physikalischer Beziehung.

1. Die Bodenoberfläche des Ton-, Lehm- und Muschelkalkbodens wurde nicht verändert, bezw. lagen die Unterschiede des ungefrorenen und 20 mal gefrorenen Bodens innerhalb der Fehlergrenzen.

2. Die Bodenoberfläche des Sandbodens erfuhr eine Vergrößerung um 5,69%, die des verwitterten Granitbodens wurde um 6,13% vergrößert.

II. In chemischer Beziehung.

1. Die mit dem Ton-, Lehm- und Muschelkalkboden angestellten Versuche haben auch nach 20 maliger Einwirkung des Frostes keine einwandfreie Mehraufnahme an Phosphorsäure und an Kalium ergeben.

2. Der 20 mal gefrorene Sandboden zeigte gegenüber dem ungefrorenen Boden eine geringe 0,94 bezw. 0,91 mg betragende Mehraufnahme an Phosphorsäure, die durch die Bodenoberflächenvergrößerung und die damit zusammenhängende bessere Ausnutzungsmöglichkeit durch die Wurzeln bedingt zu sein scheint. Eine einwandfreie, außerhalb des doppelten mittleren Fehlers liegende Mehraufnahme an K_2O ist beim 20 mal gefrorenen Sandboden nicht zu verzeichnen.

3. Auf dem Granitboden war die Frostwirkung bezüglich der Phosphorsäure ohne Einfluß; sie machte sich dagegen nach ein- und 20 maligem Gefrieren durch erhebliche einwandfreie Kalimehraufnahme geltend.

4. Die Zitronensäurelöslichkeit der Phosphorsäure zeigte nach 20 maliger Frostwirkung eine steigende Tendenz beim Ton-, Lehm- und Sandboden, während sie beim Granitboden abnahm und sich bei ihm nur nach einmaligem Gefrieren merklich erhöhte.

Schlußfolgerungen.

1. Auf den in Kultur befindlichen Ackerböden kommt eine Gesteinszertrümmerung und Vergrößerung der Bodenoberfläche umso eher in Frage, je geringer der Gehalt der Böden an abschlämmbaren Teilchen und je größer der Gehalt an noch unverwittertem Material ist.

2. Ein wirksamer chemischer Einfluß des Frostes auf die Löslichmachung der Phosphorsäure und des Kaliums ist nicht an-

zunehmen. Eine bessere Ausnutzung des im Boden wurzellöslichen Vorrats an P_2O_5 und K_2O kommt nur dann in Betracht, wenn die Bodenoberfläche durch den Frost merklich vergrößert wird.

3. Eine Ausnahme bildet der an kalihaltigen Silikaten reiche Verwitterungsboden. Hier scheint eine Einwirkung des Frostes auf die Löslichmachung des Kaliums in positivem Sinne zu bestehen.

Am Schlusse dieser Arbeit spreche ich meinem sehr verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Roemer, meinen ergebensten Dank für die Anregung zu dieser Arbeit und freundlichste Unterstützung aus. Herrn Dr. Dirks danke ich ebenso für viele freundliche Ratschläge bei der Ausführung der Arbeit.

Bodenart	I. Serie Böden in Leitungswasser gefroren: Ungefroren P_2O_5 mg	Ungefroren K_2O mg	1 mal gefroren P_2O_5 mg	1 mal gefroren K_2O mg	II. Serie Böden in Leitungswasser gefroren: Ungefroren P_2O_5 mg	Ungefroren K_2O mg	1 mal gefroren P_2O_5 mg	1 mal gefroren K_2O mg	III. Serie[1]): Ungefroren P_2O_5 mg	Ungefroren K_2O mg	20 mal gefroren P_2O_5 mg	20 mal gefroren K_2O mg	IV. Serie[2]): Ungefroren P_2O_5 mg	Ungefroren K_2O mg	1 mal gefroren P_2O_5 mg	1 mal gefroren K_2O mg	20 mal gefroren P_2O_5 mg	20 mal gefroren K_2O mg
I. Tonboden	43,14	86,94	43,46	89,06	42,42	86,26	42,80	88,60	41,66	88,13	41,51	87,91	42,45	88,49	42,41	88,70	42,59	88,63
m =	±0,91	±0,25	±0,45	±0,35	±0,31	±0,25	±0,24	±0,07	±0,17	±0,19	±0,16	±0,04	±0,12	±0 09	±0,16	±0,09	±0,20	±0,12
II. Lehmboden	38,24	48,31	40,08	51,41	38,31	50,21	38,37	53,70	36,75	52,06	37,12	54,68	38,51	57,89	38,66	58,14	38,36	57,78
m =	±1,31	±0,58	±0,81	±0,95	±0,18	±0,34	±0,30	±0,28	±0,17	±0,29	±0,13	±0,35	±0,21	±0,33	±0,22	±0,19	±0,18	±0,28
III. Sandboden	39,95	71,78	39,04	69,73	38,44	71,03	38,88	69,52	37,10	70,47	37,49	71,19	38,33	71,59	38,65	71,77	39,27	71,24
m =	±0,30	±0,42	±0,20	±0,09	±0,19	±0,18	±0,28	±0,17	±0,18	±0,45	±0,13	±0,36	±0,17	±0,10	±0,24	±0,21	±0,11	±0,23
blind	33,10	23,83			29,49	22,97			26,98	23,40			28,08	21,98				
m =	±0,36	±0,31			±0,19	±0,07			±0,23	±0,19			±0,13	±0,33				

Bodenart	V. Serie Ungefroren P_2O_5 mg	Ungefroren K_2O mg	1 mal gefroren P_2O_5 mg	1 mal gefroren K_2O mg	20 mal gefroren P_2O_5 mg	20 mal gefroren K_2O mg
I. Tonboden	40,24	85,86	40,63	86,00	40,93	86,62
m =	±0,15	±0,27	±0,18	±0,17	±0,22	±0,24
II. Lehmbod.	38,78	55,13	37,42	54,63	38,26	55,57
m =	±0,13	±0,31	±0,20	±0,43	±0,16	±0,36
III. Sandbod.	37,25	66,94	36,72	66,26	38,16	67,99
m =	±0,21	±0,33	±0,28	±0,35	±0,16	±0,41
blind	28,80	22,81				
m =	±0,23	±0,21				

Bodenart	VI. Serie Ungefroren P_2O_5 mg	Ungefroren K_2O mg	1 mal gefroren P_2O_5 mg	1 mal gefroren K_2O mg	20 mal gefroren P_2O_5 mg	20 mal gefroren K_2O mg	VII. Serie Ungefroren P_2O_5 mg	Ungefroren K_2O mg	1 mal gefroren P_2O_5 mg	1 mal gefroren K_2O mg	20 mal gefroren P_2O_5 mg	20 mal gefroren K_2O mg
I. Granitbod.	29,44	53,30	29,07	56,20	29,73	69,19	29,10	54,27	28,32	56,75	28,88	67,86
m =	±0,21	±0,73	±0,31	±0,09	±0,28	±0,34	±0,28	±0,12	±0,25	±0,31	±0,28	±0,49
II. Muschel-	31,87	95,76	32,04	96,14	31,90	97,13	32,00	96,28	32,23	96,25	31,90	97,13
kalkboden												
m =	±0,30	±0,73	±0,27	±0,62	±0,23	±0,53	±0,16	±0,50	±0,37	±0,53	±0,23	±0,53
blind	28,60	21,24					28,89	22,30				
m =	±0,24	±0,27					±0,26	±0,45				

[1]) Die gefrorenen Böden sind mit destilliertem Wasser behandelt; die ungefrorenen sind während der Frostperiode ohne Wasser behandelt.

[2]) Serie IV—VII. Die gefrorenen Böden sind mit destilliertem Wasser behandelt; die ungefrorenen Böden während der Frostperiode ebenfalls.

Tabelle II.

Gewächshaustemperaturen (° Celsius)

Serie: I 4—18. Juli 1925		II 3—17. September		III 20. Oktober bis 3. November		IV 18. Januar 1926 bis 8. Februar		V 17. März bis 4. April		VI und VII 3—18. und 10.—25. Mai	
8 Uhr vorm.	1 Uhr nachm.	8 Uhr vorm.	1 Uhr nachm.	8 Uhr vorm.	1 Uhr nachm.	8 Uhr vorm.	1 Uhr nachm.	8 Uhr vorm.	1 Uhr nachm.	8 Uhr vorm.	1 Uhr nachm.
20	21	15½	18	16½	20	17	20	16	19	13	16
19½	—	16	19	16	19½	17	19	15	19½	13	17
19	21	16½	20	16	21	18	20	14½	20	14	18
18½	23	—	18½	16½	21	18½	20	15½	19	12	17
19	22½	18½	24	14	21	17½	20	—	20	12	18
18½	23	18	20½	—	18	17	19	13	18	11	17
18	22	16½	18	13½	19	—	20	13	18½	12	15
20	23½	13½	18	14½	19	19	20	16	22	8	14
	21	13½	17	14½	19	17½	19	16½	19½	11	16
20	22	16	20½	16	21½	17	18½	17	19	13	17
19	21	—	20	13½	20	17	20	18	20	15	19
17½	23	14½	17½	13	19	18	20½	14	—	14	20
18	23	14½	16½	—	12	17½	19½	12	14½	15	18
20	23	15	16½	13	18½	16	20	13	15½	15	17
17½	18	16	18½	12	17½	18	19	14	19	15	19
						16	20½	15	20	14	16
						16½	20	13	21	15	18
						16½	19	18	21	13	19
						17	19½	17	20	13½	19
						18	20½			14	18½
						17	19½			12	18½
										14	20½
										13½	19½

Literaturverzeichnis.

[1]) Blanck, Gestein und Boden in ihrer Beziehung zur Pflanzenernährung. Landw. Vers.-Stat. 77, 1911, S. 129 und 84, 1914, S. 399.

[2]) derselbe, Die Glimmer als Kaliquelle für die Pflanzen. Journ. f. Landw. 60, 1912, S. 97.

[3]) derselbe, Die Bedeutung des Kalis in den Feldspaten f. d. Pflanzen. Journ. f. Landw. 61, 1913, S. 1.

[4]) Christensen, Ueber die Bestimmung von Kalium in Erde und Düngermitteln. Landw. Vers.-Stat. 97, 1921, S. 27.

[5]) Czermak, Ein Beitrag zur Erkenntnis der Veränderungen der sog. phys. Bodeneigenschaften durch Frost, Hitze und die Beigabe einiger Salze. Inaug.-Diss. Breslau 1911.

[6]) Dietrich, Th. Bodenverwitterung. Ztrbl. f. Agrikulturchemie, 1875, H. 8, S. 4.

[7]) Dirks, Wesen und Bedeutung der physiol. Bodenreaktion, Sonderdruck a. d. Ztschrft. f. Pfl.-Ern. u. Düng„ Teil A, Bd. 7, Heft 5/6.

[8]) Ehrenberg, Die Bodenkolloide. II. Aufl., Dresden u. Leipzig 1918.

[9]) derselbe und v. Romberg, Zur Frostwirkung auf dem Erdboden. Journ. f. Landw. 61, S. 73. (1913).

[10]) derselbe und Pick, Beiträge zur phys. Bodenuntersuchung. Ztschr. f. Forst- und Jagdwesen 43, 1911, S. 39.

[11]) derselbe, Das Kalkkaligesetz. Berlin 1919.

[12]) Fischer, Das Wasser im Plasma. Ztschr. f. Chemie u. Industr. der Kolloide. 8. S. 294.

[13]) Fleischer, Die Bodenkunde. V. Aufl, Berlin 1922.

[14]) derselbe, Die Wasser- und Temperaturverhältnisse des besandeten und nichtbesandeten Hochmoorbodens. Landw. Jahrb. 20, 1891, S. 771.

[15]) derselbe, Die Materialien zur Düngung und Melioration des Moorbodens. Landw. Jahrb. 12, 1883, S. 203.

[16]) Freundlich, Capillarchemie Leipzig 1919.

[17]) Given, Kolloide Eigenschaften des Tons und ihre Beeinflussung durch Kalksalze. Inaug.-Diss. Göttingen 1915.

[18]) Gräbner, Handbuch für Heidekultur Leipzig 1904.

[19]) Haselhoff, Untersuchungen über die Zersetzung bodenbildender Gesteine. Landw. Vers.-Stat. 70, 1909, S. 53.

[20]) derselbe und Isernhagen, Einfluß des Pflanzenwachstums auf die Zersetzung bodenbildender Gesteine. Landw. Jahrb. 50, 1916, S. 119.

[21]) Hasenbäumer, Kolorimetrische Bestimmung der Bodensäure. Landw. Vers.-Stat. 95, 1910, S. 106.

[22]) Hoffmann, Untersuchungen über die Veränderung der Bodenoberfläche. Landw. Vers.-Stat. 85, 1914, S. 123.

[23]) Koerschens, Der Einfluß kohlensauren Kalkes und versch. Stickstoffdüngemittel auf die Ausnutzung der Bodenphosphorsäure u. des Bodenkalis, unters. nach d. Neubauer'schen Keimpflanzenmethode. Inaug.-Diss. Halle 1926.

[24]) Krafft, F. Ueber kolloidale Salze als Membranbildner. Ber. Dtsch. chem. Gesellsch. B. 32, 1899, S. 164.

[25]) Lemmermann, Ueber die Best. d. rel. Lösl. d. Bodenphosphors. Ztschr. f. Pfl.-Ern. u. Dg. 1923, A, B. 2, S. 363 und 1925 Teil B, Bd. 4, S. 27.

[26]) Lorenz, von, Phosphorsäurebestimmung in Dünger, Boden und Asche durch direkte Wägung des Ammoniumphosphormolybdates. Landw.-Vers.-Stat. 66, 1907, S. 203.
[27]) Mayer, A., Bleisand und Ortstein. Landw. Vers.-Stat. 58, 1903, S. 186.
[28]) Mitscherlich, Bodenkunde für Land- und Forstwirte, IV. Aufl., Berlin 1923.
[29]) derselbe und Floeß, Ein Beitrag zur Bestimmung der Hygroskopizität und zur Bewertung der physikal. Bodenanalyse. Intern. Mittlg. f. Bodenkunde, Bd. 1, 1912, S. 463.
[30]) derselbe, Eine quantitative Bestimmung kleiner Mengen von Kalium. Landw. Vers.-Stat. 76, 1911, S. 139.
[31]) derselbe und Fischer, Zur Kalianalyse. Landw. Vers.-Stat. 78, 1912, S. 75.
[32]) Mousson, Die Physik auf Grundlage der Erfahrung. X. Aufl., 1860, S. 79.
[33]) Müller-Thurgau, Ueber das Gefrieren und Erfrieren der Pflanzen. Landw. Jahrb. 9, 1880, S. 146.
[34]) Neubauer, Ein Laboratoriumsverfahren zur Bestimmung der von den Pflanzen aus dem Boden aufnehmbaren Mengen von Phosphorsäure und Kali. Landw. Vers.-Stat. 1922, S. 119.
[35]) derselbe, Die v. Lorenz'sche Methode der Phosphorsäurebestimmung, namentlich in ihrer Anwendung auf die Bestimmung der zitronenlöslichen Phosphorsäure im Thomasmehl. Landw. Vers.-Stat. 66, 1907, S. 203.
[36]) derselbe und Schneider, Die Nährstoffaufnahme der Keimpflanzen und ihre Anwendung auf die Bestimmung des Nährstoffgehaltes der Böden. Ztschr. f. Pfl. u. Düng. 1923, Heft 5.
[37]) Nolte, O. und Erna Hahn, Die Wirkung des Frostes auf den Boden. Journ. f. Landw. 65, 1917, S. 75.
[38]) Pfeiffer, Simmermacher und Spangenberg, Die Löslichkeit verschiedener Phosphate u. deren Ausnutzung durch Hafer und Buchweizen. Landw. Vers.-Stat. 89, 1917, S. 203.
[39]) Prianischnikow, Vegetationsversuche mit versch. kalihaltigen Mineralien. Landw. Vers.-Stat. 77, 1912, S. 399.
[40]) derselbe, Feldspat und Glimmer als Kaliquellen. Landw. Vers.-Stat. 63, 1906, S. 151.
[41]) derselbe, Zur Frage über den relativen Wert von verschiedenen Phosphaten. Landw. Vers.-Stat. 56, 1902, S. 107, 65, 1907, S. 23.
[42]) Ramann, E., Bodenkunde, II. Aufl., Berlin 1905, S. 411.
[43]) Roemer, Der Feldversuch. Berlin 1925.
[44]) Sachs, Veränderungen vegetabilischer Stoffe durch Gefrieren und Auftauen. Landw. Vers.-Stat. 2, 1860, S. 193.
[45]) Schuhmacher, Physik des Bodens. 1864.
[46]) Wollny, Untersuchungen über den Einfluß des Frostes auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Forsch. a. d. Geb. d. Agr. Phys. Bd. 20, S. 439 (1897/98).
[47]) Wiegner, Boden und Bodenbildung. 1918.
[48]) M. v. Wrangell, Ein estländisches Rohphosphat u. seine Wirkung auf verschiedene Pflanzen. Landw. Vers.-Stat. 96, 1920, S. 1.
[49]) Wohltmann und Marschall, Untersuchungsmethoden im landw. physiol. Laboratorium des landw. Instituts Halle (1914).

Lebenslauf.

Am 13. Februar 1900 wurde ich, Bernhard Heinrich Bätz, zu Lehe an der Weser als Sohn des Provinzialwegemeisters Heinrich Bätz und seiner Ehefrau Martha geb. Stegmann geboren. Ich besuchte die Oberrealschule zu Lehe, die Privatschule zu Berge in Hannover, absolvierte das Realgymnasium in Osnabrück bis zur Oberprima und bestand die Notreifeprüfung im Juni 1918. Bis zum März 1919 stand ich im Heeresdienst und erlernte dann während 3 Jahre die praktische Landwirtschaft in Starsiedel bei Lützen, Borwede bei Bremen und Jeggen bei Osnabrück.

Mit Beginn des Sommersemesters 1922 bezog ich die Universität Göttingen, siedelte im Wintersemester desselben Jahres nach Halle über und legte dort im Juli 1925 die Diplomprüfung ab. Vom März 1925 bis Juli 1926 war ich im Versuchslaboratorium des Institutes für Pflanzenbau der Universität Halle a. S. mit der Anfertigung meiner Doktorarbeit beschäftigt.